

UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

MARIANE DA SILVA PEREIRA

REAPROVEITAMENTO DA TORTA DE REJEITOS CARBONOSOS NA
FABRICAÇÃO DE TIJOLOS

CRICIÚMA

2014

MARIANE DA SILVA PEREIRA

**REAPROVEITAMENTO DA TORTA DE REJEITOS CARBONOSOS NA
FABRICAÇÃO DE TIJOLOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado para obtenção do grau de Engenharia Ambiental no curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC).

Orientadora: Prof. MSc. Rosimeri Venâncio Redivo

CRICIÚMA

2014

MARIANE DA SILVA PEREIRA

**REAPROVEITAMENTO DA TORTA DE REJEITOS CARBONOSOS NA
FABRICAÇÃO DE TIJOLOS**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Banca Examinadora para obtenção do Grau de Engenheira Ambiental no Curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, com Linha de Pesquisa Tratamento e Destino Final de Resíduos Sólidos.

Criciúma, 25 de junho de 2014.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Rosimeri Venâncio Redivo – Eng. MSc. Química – (UNESC) – Orientadora

Prof. Sérgio Luciano Galatto – Eng. MSc. Ambiental – (UNESC)

Prof. Michael Peterson – Eng. Dr. Químico – (UNESC)

Dedico este trabalho aos meus pais Jailson e Maryléia.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me guiar sempre, protegendo-me e iluminando-me durante toda minha vida.

Agradeço muito aos meus pais, Jailson Pereira e Maryléia Pereira e meu irmão Atílio Pereira por todo apoio, incentivo, companheirismo, carinho e por não ter medido esforços para que eu me tornasse uma engenheira.

Ao meu namorado, Daniel Baccin, que sempre soube compreender meus momentos de ausência. Muito obrigada pelo carinho, força, paciência e por me tranquilizar nos momentos mais difíceis, e também por me ajudar na construção deste trabalho.

As minhas irmãs de coração, Amanda Marcon e Tamara Stupp, pela grande amizade, amor e parceria durante anos.

Aos meus amigos que sempre tiveram ao meu lado, pela parceria e por terem me apoiado durante esse trabalho, em especial a Luana Milak Furmanski.

Aos meus colegas de faculdade, por todos os momentos bons que passamos juntos, durante a graduação, com destaque aqueles que tornaram grandes amigos, que com certeza levarei junto comigo para o resto da vida.

A minha orientadora Rosimeri Venâncio Redivo, por toda atenção, disposição e ensinamentos para a realização deste trabalho.

Agradeço também aos professores Michael Peterson e Sérgio Luciano Galatto por aceitarem o convite como participantes da banca de defesa desse trabalho, contribuindo para o término e êxito do mesmo.

A todos os professores que contribuíram com a minha formação acadêmica, pela amizade e pelos ensinamentos.

Ao pessoal do laboratório da empresa Rio Deserto, principalmente, a Bruna Mattiola e a Sabrina Tavares que me ajudaram a fazer os ensaios laboratoriais e o Giovane Venâncio por ter me ajudado no teste industrial.

A minha supervisora de campo, Silvia Isaura Cruz, que me auxiliou no desenvolvimento deste trabalho e no teste industrial.

Muito obrigada a todos!

“No meio da dificuldade, encontra-se a oportunidade”.

Albert Einstein

RESUMO

O presente trabalho visa o estudo da possibilidade de um projeto de produção mais limpa, por meio do reaproveitamento de um resíduo sólido gerado no processo de beneficiamento de carvão, denominado como torta de rejeito, proveniente do filtro prensa. Este foi utilizado no processo produtivo de uma cerâmica vermelha como insumo na formulação das matérias-primas para a fabricação de tijolos, utilizando-o em percentuais predeterminados. O reaproveitamento tem como finalidade a redução da exploração dos recursos naturais, bem como a diminuição de custos para destinação adequada deste resíduo denominado torta de rejeito, contribuindo para o desenvolvimento sustentável. Para o estudo em questão foram realizados ensaios de caracterização da argila e da torta de rejeito, nos quais foram contempladas as análises químicas e a umidade, bem como a classificação do resíduo sólido de acordo com a ABNT/NBR 10004/2004. Após a realização destes ensaios, foram produzidos corpos de provas industriais com percentuais de 2% e 4% de torta de rejeito e, respectivamente, 98% e 96% de argila. Os mesmos foram queimados no forno da cerâmica. Após a formulação dos corpos de prova, foram analisados os ensaios de retração de secagem e queima, umidade, perda ao fogo, absorção de água, cor de queima e resistência à flexão nos tijolos (corpos de prova). Com o reaproveitamento deste resíduo na fabricação de tijolos, não houve alterações significativas nas características físicas dos produtos que possam influenciar na qualidade final do mesmo. Além disso, tem-se a contribuição para a redução do tempo de queima, devido o poder calorífico da torta de rejeitos.

Palavras-chave: Mineração de carvão. Reaproveitamento de resíduo. Cerâmica vermelha. Massa cerâmica.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fluxograma genérico do processo produtivo de cerâmica vermelha	16
Figura 2 – Fluxograma representando níveis de classificação de P+L	26
Figura 3 – Métodos de alteamentos de barragens	28
Figura 4 – Imagem de satélite ilustrando localização da indústria cerâmica	33
Figura 5 – Produtos fabricados na cerâmica em estudo	33
Figura 6 – Fluxograma simplificado do beneficiamento de carvão	34
Figura 7 – Filtro prensa	35
Figura 8 – Torta de rejeito	35
Figura 9 – Equipamento de absorção atômica	37
Figura 10 – Fluxograma da cerâmica com o reaproveitamento de torta de rejeito....	38
Figura 11 – Tijolos com “coração negro”	39
Figura 12 – Ensaio de absorção de água.....	42
Figura 13 – Fluxograma do processo produtivo de cerâmica vermelha	43
Figura 14 – Estocagem de argila.....	44
Figura 15 – Processo de misturador	45
Figura 16 – Extrusora/maromba	46
Figura 17 – Processo de corte	46
Figura 18 – Secagem natural	47
Figura 19 – Secagem artificial	48
Figura 20 – Forno do tipo “garrafão”	49
Figura 21 – Interior do forno tipo “garrafão”	49
Figura 22 – Estocagem dos tijolos	50
Figura 23 – Resultados de retração linear de secagem e umidade	56
Figura 24 - Resultados de retração linear de queima e perda ao fogo.....	57
Figura 25 – Gráfico de resultados de absorção de água.....	58
Figura 26 – Resultados de comparações de cor branca	59
Figura 27 – Resultados de comparação das cores mescladas	59
Figura 28 – Resultados de que não houve formação de “coração negro”	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Análises físico químicas da torta de rejeito	50
Tabela 2 – Resultados dos testes de Corrosividade e Reatividade	51
Tabela 3 – Resultados de lixiviação do resíduo	51
Tabela 4 – Resultados da Solubilização do resíduo.....	52
Tabela 5 – Resultados da umidade total	53
Tabela 6 – Composição química das amostras de argila e torta de rejeito	53
Tabela 7 – Caracterização física dos três tipos de corpos de prova	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCERAM	Associação Brasileira de Cerâmica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANFACER	Associação Nacional de Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos
CNTL	Centro Nacional de Tecnologias Limpas
CPRH	Agência Estadual de Meio Ambiente
DAM	Drenagem Ácida de Mina
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
EAS	Estudo Ambiental Simplificado
EI	Ecologia Industrial
EIA/RIMA	Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental
FEAM	Fundação Estadual de Meio Ambiente
P + L	Produção Mais Limpa
PAE	Projeto de Aproveitamento Econômico
PRAD	Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio as Micro e Pequenas Empresas
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SINDICER	Sindicato da Indústria da Cerâmica Vermelha
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
UNESC	Universidade do Extremo Sul Catarinense

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1 HISTÓRICO DA CERÂMICA	13
2.2 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DE CERÂMICA VERMELHA	14
2.2.1 Extração e preparo da matéria-prima	16
2.2.2 Preparação da massa bruta	17
2.2.3 Conformação mecânica.....	18
2.2.4 Processamento térmico	18
2.2.5 Inspeção, expedição e estocagem	19
2.3 CERÂMICA E MEIO AMBIENTE	19
2.4 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	20
2.5 REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	21
2.6 PRODUÇÃO MAIS LIMPA	24
2.7 REJEITOS DA MINERAÇÃO	26
3 METODOLOGIA	32
3.1 ÁREA DE ESTUDO	32
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ARGILA E TORTA DE REJEITO	33
3.2.1 Umidade total.....	36
3.2.2 Composição química	36
3.3 DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS UTILIZANDO TORTA DE REJEITO.....	37
3.3.1 Retração de secagem	40
3.3.1.1 Umidade.....	40
3.3.2 Retração de queima	40
3.3.2.1 Perda ao fogo.....	41
3.3.3 Absorção de água	41
3.3.4 Cor de queima.....	42
3.3.5 Resistência à flexão	42
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS.....	43
4.1 PROCESSO PRODUTIVO DA CERÂMICA VERMELHA.....	43
4.1.1 Recebimento de matéria-prima	44
4.1.2 Preparação da massa	44
4.1.3 Processamento térmico	47

4.1.4 Inspeção, estocagem e expedição	49
4.2 CARACTERIZAÇÃO DA ARGILA E DA TORTA DE REJEITO	50
4.2.1 Classificação da torta de rejeito	51
4.2.2 Composição química da argila e da torta de rejeito	53
4.3 ANÁLISES DOS CORPOS DE PROVA.....	55
4.3.1 Cor de queima.....	58
4.3.2 “Coração negro”	59
4.4 CÁLCULO DE REDUÇÃO DA TORTA DE REJEITO NA MINA DE CARVÃO	60
4.5 CÁLCULO DA EMISSÃO DE SO ₂ APÓS REAPROVEITAMENTO	61
4.6 RECOMENDAÇÕES DE CONTINUAÇÃO DE TRABALHO	62
5 CONCLUSÃO	63
REFERÊNCIAS.....	65
ANEXO	69

1 INTRODUÇÃO

O setor industrial de cerâmica vermelha é considerado a base econômica em diversas cidades do sul do estado de Santa Catarina, principalmente no município de Morro da Fumaça.

Contudo, com a falta de tecnologias avançadas, de fiscalização dos órgãos ambientais e de incentivos ambientais para adequação de tecnologias mais limpas, acaba tornando este setor em um grande vilão ao meio ambiente, principalmente pelo impacto ambiental na qualidade do ar.

Assim, em busca de sustentabilidade, faz com que muitas indústrias cerâmicas invistam em processos industriais mais limpos, a fim de eliminar, reduzir ou minimizar os impactos ambientais negativos causados pelas mesmas.

A empresa em questão, objeto deste estudo, não trabalha com qualquer tipo de reaproveitamento de resíduos, e com objetivo de trabalhar essa questão, o trabalho aqui exposto apresenta como temática o reaproveitamento de resíduos carbonosos no processo de uma cerâmica vermelha.

Com vistas em diminuir o consumo de recursos naturais, esse trabalho se torna importante, uma vez que a exploração de argilominerais é bastante acentuada por este tipo de indústria, bem como contribuir para a diminuição de resíduos a serem destinados a aterros sanitários ou depósitos de rejeitos e, conseqüentemente, dos custos envolvidos, visto a necessidade de disposição ambientalmente adequada deste resíduo gerado pelo beneficiamento de carvão.

O principal objetivo desse trabalho foi estudar a aplicação de tortas de rejeitos carbonosos provenientes do filtro prensa de uma indústria carbonífera na fabricação de tijolos, sem interferir negativamente na qualidade do produto final a ser comercializado, além de contribuir para o desenvolvimento sustentável.

Após a formulação alternativa da massa cerâmica do tijolo, foram analisadas suas características técnicas com relação à mistura atual, a fim de identificar a viabilidade de substituição de uma parcela de argila por resíduo, acompanhando o comportamento no processo produtivo e visando melhorias para a cerâmica objeto de estudo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 HISTÓRICO DA CERÂMICA

As peças de cerâmica elaboradas com argila datam de 4000 a.C., e na mesma época foram utilizados tijolos para construções (SEBRAE, 2008). Em 430 a.C. foram encontradas telhas na Grécia, Japão e China, e em torno de 280 a.C. houve a utilização de barro cozido para construção de telhados, assim como para fabricação de divindades, objetos ornamentais e artefatos utilitários (SEBRAE, 2008).

Segundo SEBRAE (2008), a atividade de fabricação de cerâmicas já existia antes mesmo da descoberta do Brasil, representada por baixelas, potes e outros artefatos cerâmicos. A palavra cerâmica vem do grego “kéramos” que tem o significado de “argila queimada” ou “terra queimada” (CPRH, 2010).

Conforme ABCERAM (2014), a indústria cerâmica tem uma grande importância na economia do país, representando 1% do PIB, tendo uma movimentação anual de 6,4 bilhões em toda cadeia produtiva. A abundância de matérias-primas naturais no Brasil, fontes alternativas de energia e disponibilidade de tecnologias práticas, são aspectos que permitiram que a indústria e a cerâmica evoluíssem cada vez mais (OLIVEIRA; MAGANHA, 2008).

A cerâmica no mundo foi evoluindo por meio de aperfeiçoamento gradativo da cerâmica e do descobrimento de novas técnicas (ANFACER, 2014).

O setor cerâmico é bastante diversificado e pode ser dividido nos seguintes segmentos: cerâmica vermelha, cerâmica de revestimentos, materiais refratários, louça sanitária, isoladores elétricos de porcelana, louça de mesa, cerâmica artística (decorativa e utilitária), cerâmica técnica e isolantes térmicos (ABCERAM, 2014).

No Brasil, as regiões que apresentam uma alta concentração de indústrias do ramo cerâmico, e que mais se desenvolveram em relação aos segmentos cerâmicos, foram sudeste e sul (COELHO; BOSHI, 2009). Isso é devido alguns fatores como: maior densidade demográfica, maior atividade industrial e agropecuária, melhor infraestrutura, melhor distribuição de renda, maior acesso de matéria-prima, energia, centro de pesquisas, entre outros aspectos (ABCERAM, 2014).

A cerâmica vermelha é a que produz os materiais com coloração avermelhada empregados na construção civil, tais como tijolos, blocos, telhas, elementos vazados, lajes, tubos cerâmicos e argilas expandidas, e também utensílios de uso doméstico e de adorno (SINDICER, 2014).

O setor de cerâmica vermelha está tendo iniciativas de aprimoramento tecnológico e competitivo, implantando sistemas de qualidade, laboratórios de caracterização de matéria-prima e produto, qualificação de mão de obra, desenvolvimento do uso de novos combustíveis, e estudos de incorporação de resíduos em massa cerâmica (JÚNIOR *et al*, 2012).

O município de Morro da Fumaça tem sua economia baseada em cerâmicas vermelhas, devido ao grande volume de argila encontrada na região, sendo de um total de 8.400 hectares (MACCARI, 2005).

2.2 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DE CERÂMICA VERMELHA

A matéria-prima utilizada no processo produtivo de cerâmica vermelha é a argila, devido a suas características de plasticidade, resistência mecânica após queima, bem como possibilidade de conformação por diferentes técnicas de processamento; e é uma matéria-prima com disponibilidade em grandes quantidades (TELEOKEN, 2011).

Para Andreoli (2006, p. 293):

“A palavra argila é normalmente empregada para designar um material natural, de aspecto terroso e de baixa granulometria, que geralmente exibe certa plasticidade quando úmida”.

As argilas utilizadas no processo de cerâmicas possuem hidroplasticidade, são fácil de moldagem e vitrificam a temperaturas relativamente baixas (TELEOKEN, 2011). As características finais do produto dependem da composição da argila em argilominerais (CALLIESTER, 2009 *apud* TELEOKEN, 2011).

Conforme cita Teleoken (2011, p. 24):

Os argilominerais representam os minerais hidratados dispersos nos sistemas argilosos. São compostos laminares, onde o silício ocupa dentro de um tetraedro em cujos vértices estão átomos de oxigênio, e compostos bidimensionais do alumínio ou magnésio-oxigênio-hidroxila, formando octaedros.

A principal característica das argilas comuns, para cerâmica vermelha ou estrutural, é a cor de queima avermelhada. Essa propriedade deve-se ao alto teor de óxido de ferro total que encerram, geralmente, superiores a 4% (FACINCANI, 1992 *apud* CABRAL JUNIOR *et al*, 2005).

As argilas podem ser classificadas como magras e gordas, conforme a maior ou menor quantidade de colóides. As argilas gordas são consideradas mais plásticas e, devido à alumina, deformam-se muito mais durante a sinterização. As argilas magras são mais porosas e menos plásticas devido ao excesso de sílica (BAUER, 1988 *apud* ANDREOLI, 2006).

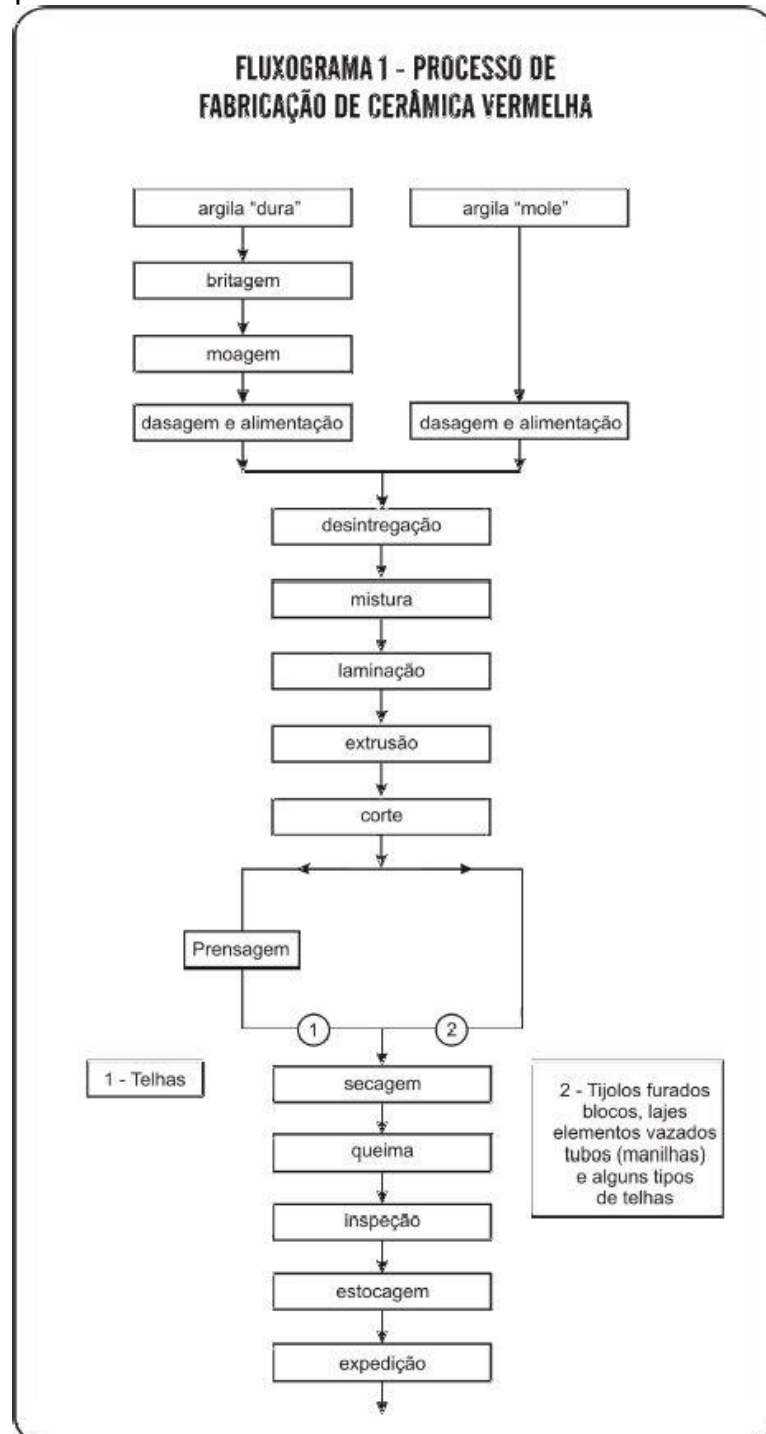
Segundo CABRAL JUNIOR *et al* (2005), o setor de cerâmica vermelha utiliza a chamada massa monocomponente, composta somente por argilas, ou seja, não envolve a mistura de outras substâncias minerais.

No processo de fabricação, a argila é umidificada, geralmente, com mais de 20% e processada em misturadores e homogeneizadores rústicos, sendo conformadas, posteriormente, em extrusoras (marombas) e seguem para prensagem (CABRAL JUNIOR *et al*, 2005).

O comportamento na moldagem, secagem e queima da massa para a produção de cerâmica depende da composição das argilas e dos elementos misturados a estas; quando necessário, para alcançar as propriedades finais do produto (IPT, 2005 *apud* ANDREOLI, 2006).

O processo produtivo de uma cerâmica vermelha é composto por algumas etapas, que podem incluir desde a exploração da matéria-prima, preparação da massa bruta, extrusão, corte, prensagem, secagem, queima, até a inspeção, expedição e transporte, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma genérico do processo produtivo de cerâmica vermelha



Fonte: ABC, 2011

2.2.1 Extração e preparo da matéria-prima

Conforme Más (s.d.), toda extração inicia-se pela legislação da jazida, ou seja, além do título minerário, o empreendedor, para extrair, precisa apresentar o Projeto de Aproveitamento Econômico (PAE) para que seja aprovado pelo

Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM. Para o licenciamento ambiental no órgão ambiental deve-se apresentar ainda o Estudo Ambiental Simplificado (EAS) ou Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA), dependendo do porte da jazida, além do Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD).

A extração é realizada em lavra a céu aberto, por meio de retroescavadeiras que cavam extensas valas de mais ou menos dois metros de profundidade, e o transporte da jazida até a fábrica é feito por caminhões basculantes (MACCARI, 2005).

As argilas devem ser estocadas por um período longo, para melhorar suas características e facilitar o seu processamento. O sazonalamento é muito comum desde sua antiguidade, pois melhoram sua plasticidade e homogeneizam a umidade, entre outros fatores (ABC, 2002 *apud* BASTOS, 2003).

É recomendável que argila, após o sazonalamento, seja coberta por uma lona ou colocada em um ambiente coberto, para evitar o excesso de umidade ou ressecamento (BASTOS, 2003).

Uma argila sem sazonalizar, levando diretamente para a maromba, se comporta com magreza, como se estivesse faltando argila, mesmo que ela esteja presente; a massa não sazonalizada, não faz uma boa liga com o vácuo (MÁS, s.d.).

Os processos de sazonalamento, homogeneização e composição da matéria-prima, geralmente, acontecem no próprio pátio das cerâmicas (JUNIOR *et al*, 2012).

2.2.2 Preparação da massa bruta

A preparação da massa bruta tem o objetivo de formar uma mistura homogênea, com plasticidade uniforme e livre de torrões (VERSOÇA, 1997).

Na preparação da massa, o material é separado, formando montes de argila para serem homogeneizados. Após isso, a argila é encaminhada para o caixão alimentador, onde acontece a separação necessária à produção, que em seguida é levada para os desintegradores (SEBRAE, 2008).

Na fase dos desintegradores, a umidade deverá variar entre 16% e 25%, evitando assim a perda de eficiência (SEBRAE, 2008).

Em seguida no misturador, a mistura é homogeneizada. Logo a massa é amassada em formatos de lâmina, na etapa de laminador, e em seguida é levada a maromba (SEBRAE, 2008).

2.2.3 Conformação mecânica

A extrusora tem como finalidade compactar e desarear a massa, formando blocos com características dimensionais que dependem do produto a ser fabricado (SANTA CATARINA, 1990). Nesta etapa a umidade da massa pode chegar entre 18 e 30%. A extrusora consiste em fazer passar uma coluna de argila compactada, por meio de um dispositivo de uma matriz com o formato desejado, sendo que o mecanismo propulsor pode ser de cilindros, pistão ou de hélices (ANDREOLI, 2006).

No caso de tijolos, em cerâmica vermelha, a conformação termina na saída da maromba, com um cortador, que define o comprimento dos tijolos, já que os detalhes internos e a largura são definidos pela “boquilha”, que funciona como matriz da maromba (SANTA CATARINA, 1990).

2.2.4 Processamento térmico

Para Andreoli (2006), a queima é a etapa mais importante para o processo produtivo, pois é com ela que são determinadas as propriedades finais do produto, sendo realizadas em fornos, utilizando diferentes combustíveis como: lenha, pó de serra, gás natural e outros.

Após a conformação, é realizada a secagem, que consiste na eliminação da água por evaporação, a qual deve ser feita de forma lenta e gradual a fim de evitar tensões (ANDREOLI, 2006).

A secagem dos tijolos pode ser natural, ou seja, por meio do calor próprio do ambiente, onde os tijolos ficam expostos em prateleiras por um período de até seis semanas. Outro método de secagem é por estufas, com um período menor, de um ou dois dias, utilizando fontes de calor através de uma fornalha, atingindo uma temperatura em torno de 80 graus centígrados (SANTA CATARINA, 1990).

O forno intermitente é o modelo mais antigo, podendo ser chamado de “garrafão”, “chinês”, “caipira”, “paulista”, dentre outros. Nestes fornos, o combustível

é queimado sobre grelhas e o calor é conduzido até o teto e succionado para baixo, atravessando as pilhas de peças. O ciclo dura de quatro a cinco dias (SANTA CATARINA, 1990).

É de suma importância controlar a velocidade de aumento e diminuição da temperatura dos fornos, evitando assim, deformações, quebras e peças queimadas em excesso (Santos, 2000 *apud* Teixeira, 2012).

Conforme Dutra (2006) *apud* Teixeira (2012, p.26):

Os intervalos de temperatura relacionados às transformações são: (1) 100°C – 160°C perda de água livre, seja por capilaridade ou adsorvida na superfície externa dos argilo-minerais; (2) 200°C – 800°C decomposição de hidróxidos e outros minerais que contém água estrutural; (3) 305°C – 410°C combustão da matéria orgânica; (4) 500°C – 1200°C decomposição de sulfatos, carbonatos, entre outros compostos que contém oxigênio; (5) 565°C – 575°C transição de fase do quartzo alfa para o quartzo beta; (6) superior a 800°C destruição da estrutura cristalina e (7) superior a 850°C recristalização da estrutura cristalina e sinterização.

Em termos de tecnologia, devido à alta produção, os fornos contínuos são considerados os mais avançados. O material a ser queimado passa por meio de uma vagoneta, por um túnel com várias zonas de temperatura, em um ciclo que gira em 24 horas (SANTA CATARINA, 1990).

2.2.5 Inspeção, expedição e estocagem

O setor de cerâmica vermelha, não realiza um monitoramento de controle de qualidade de processo e do produto final, apenas com uma avaliação visual do material (SANTA CATARINA, 1990).

Depois de retirar os tijolos do forno, os mesmos são inspecionados em um pátio da empresa, para retirada de peças com defeito (SEBRAE, 2008).

2.3 CERÂMICA E MEIO AMBIENTE

De acordo com a resolução do Conselho Estadual do Meio Ambiente – CONSEMA 014/2012, o empreendimento com atividade de fabricação de telhas, tijolos e outros artigos de barro cozido-exclusivo de cerâmica esmaltado, se enquadra no código 10.40.10 e, dependendo do porte poluidor e do porte da empresa, vai necessitar de licenciamento ambiental por meio de apresentação de RAP (Relatório Ambiental Prévio) ou EAS (Estudo Ambiental Simplificado).

O setor de cerâmica vermelha engloba processos produtivos e diversos produtos. Estes processos são consumidores de recursos naturais e energia, bem como produzem grande quantidade de resíduos sólidos. Vários impactos ambientais são gerados desde a extração de argila até a destinação final - ciclo de vida (CPRH, 2010).

Os principais impactos ambientais decorrentes das indústrias cerâmicas estão relacionados a fatores como: consumo de energia e água, geração de resíduos sólidos, degradação das áreas de extração de argila, emissão de poluentes atmosféricos, bem como efeito estufa (FEAM, 2013).

A remoção da argila, principal matéria-prima no setor ceramista, é realizada por retroescavadeiras que acabam deixando “cavas” no solo, acelerando a erosão e resultando também em um cenário de devastação na área explorada (CPRH, 2010).

A supressão da vegetação essencial para o início da extração da argila, se realizada de maneira inadequada, sendo considerada uma séria agressão ambiental. Assim como a lenha, a qual é utilizada para a queima dos produtos cerâmicos, e que também é proveniente do desmatamento/supressão de vegetação (CPRH, 2010).

A poluição atmosférica é outro impacto significativo nas cerâmicas, sendo ocasionado pela queima dos fornos com lenha. Tais poluentes, além de contribuírem com o efeito estufa, podem causar uma série de doenças respiratórias na população que mora nas proximidades das fábricas (CPRH, 2010).

2.4 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Desenvolvimento sustentável é definido como o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras (CMMAD, 1987 *apud* RAMOS; SPOSTO, 2006).

Conforme Manzini (2008) *apud* Culau *et al*, (2012, p. 7):

A sustentabilidade é um processo de aprendizagem social que requer uma descontinuidade sistêmica, isto é, que busca equilibrar fatores ambientais, sociais e econômicos, de modo a garantir a permanência presente e futura dos recursos do planeta; e que consiste, fundamentalmente, em viver melhor consumindo muito menos.

É necessário levar em conta os aspectos de reaproveitamento, nas questões de sustentabilidade, seja de resíduos orgânicos ou de matérias-primas

provenientes dos descartes produzidos pela indústria. Isso reduz custos, bem como faz um contraponto a um problema que afeta o mundo em sua totalidade, ou seja, o crescimento econômico e o consumo desenfreado em desequilíbrio com o meio ambiente (CULAU *et al*, 2012).

A gestão, a reciclagem e o reaproveitamento dos resíduos surgem como alternativas importantes para o desenvolvimento sustentável, pois visam ao reaproveitamento de matéria e materiais que acabariam sendo descartados no lixo, propiciando assim economia de recursos naturais e a contenção do volume de material utilizado (CULAU *et al*, 2012).

A solução para combater os desperdícios causados pelas empresas, passa pela mudança nos padrões de consumo, estabelecendo uma transformação de cultura e promovendo alternativa para a destinação correta dos resíduos (CULAU *et al*, 2012). É de suma importância, repensar no ciclo de vida dos produtos, adotando tecnologias limpas e renováveis, com menor utilização de matérias-primas e criação de soluções alternativas em embalagens (CULAU *et al*, 2012).

2.5 REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

As atividades industriais vêm crescendo rapidamente no mundo todo. Esse crescimento faz com que a poluição ambiental se alastre, causando impactos na qualidade de vida das pessoas e, principalmente, no ambiente (LUCAS; BENATTI, 2008).

A prática do uso de resíduos na construção civil surgiu na década de 80 nos países industrializados, com o objetivo de fornecer para esses resíduos um destino final ambientalmente correto (ANDREOLI, 2006).

O termo resíduo vem do latim “residuum” e significa restos. Os resíduos sólidos é uma das formas de poluição industrial, representado, quase sempre, por perdas de matérias-primas e insumos (JACOMINO *et al*, 2002 *apud* LUCAS; BENATTI, 2008).

De acordo com a Lei 12.305/2010, os resíduos sólidos são definidos como material ou substância resultante de atividades humanas em sociedades, cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder nos estados sólidos ou semisólidos (BRASIL, 2010).

A Lei 12.305/2010 estabelece a diferença entre resíduo e rejeito: os resíduos devem ser reaproveitados e reciclados e apenas os rejeitos devem ter disposição final (BRASIL, 2010). A mesma define que o resíduo só é considerado rejeito, quando o mesmo não tem mais possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis (BRASIL, 2010).

De acordo com Gasi e Ferreira (2006, p. 49), os resíduos/rejeitos não significam apenas desconformidade legal, mas também responsabilidade continuada do gerador, redução da produtividade e da competitividade, prejuízos à imagem, redução das margens de lucro e eventual perda de mercados. Então, o ideal seria não gerá-los.

Os resíduos são classificados quanto ao risco potencial ao meio ambiente e a saúde pública em função das suas características. As normas que regem a correta disposição dos resíduos sólidos são: NBR 10.004 (classificação), NBR 10.005 (lixiviação) e NBR 10.006 (solubilização) (TELOEKEN, 2011).

Conforme a Lei 12.305 em seu Art. 9º (2010, p. 5):

Na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

A destinação final adequada ambientalmente correta inclui a reutilização, reciclagem de resíduos, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas a modo de evitar riscos a saúde pública e minimizar os impactos no meio ambiente (BRASIL, 2010).

Os custos e danos ambientais decorrentes de práticas inadequadas de destinação final podem ser reduzidos por meio de reciclagem ou reaproveitamento, diminuindo assim o consumo de recursos naturais (matéria-prima ou energia) e transformando resíduos em recursos (ANDREOLI, 2006).

Pela necessidade de se obter alternativas que permitam a destinação segura dos resíduos sólidos, tem sido evidenciada a utilização de resíduos como matéria-prima secundária, em diferentes processos industriais (TELOEKEN, 2011).

Conforme Andreoli (2006), a reciclagem e o reaproveitamento são uma oportunidade de transformar um item de despesas em lucro para a empresa ou, pelo menos, minimizar os gastos que a mesma teria para dar a disposição final a estes resíduos.

A reciclagem é o processo de transformação pelo qual o resíduo sólido passa, envolvendo alterações de suas propriedades físicas, físico-química, biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos (BRASIL, 2010). Já a reutilização, pode ser definida como o processo onde se aproveita os resíduos sólidos sem sua transformação biológica, física e físico-química (BRASIL, 2010).

A reutilização e a reciclagem, são vistas como uma perspectiva de lucro, como parte de uma política ambiental de gerenciamento de resíduos sólidos, resultando na redução de impactos ambientais e melhoria das condições de saúde pública (MILANEZ, 2002).

A reutilização de resíduos pode ser definida como a reintrodução, em utilização análoga e sem alterações de substâncias, objetos ou produtos nos circuitos de produção e ou consumo, por forma a evitar a produção de resíduos (MARTINHO, 2000).

O reaproveitamento de resíduos como insumos energéticos ou incorporados na massa cerâmica tem como vantagem a diminuição destes. Entretanto, durante a queima, alguns resíduos podem gerar gases tóxicos dependendo de sua constituição. Sendo assim, se faz necessário analisar previamente o tipo de resíduo utilizado e suas implicações (FEAM, 2013).

Conforme Casagrande *et al* (2008, p.1):

A contínua necessidade, por parte do mercado, de novos produtos cerâmicos dotados de propriedades funcionais sempre melhores, tem notadamente estimulado a pesquisa em direção a aplicação de materiais de baixo custo. Nos últimos anos, muitos foram os estudos que analisaram a possibilidade de reciclagem e reaproveitamento de uma vasta gama de resíduos industriais. A maior parte das pesquisas demonstrou a importância da reciclagem na proteção ambiental e no desenvolvimento tecnológico.

As indústrias produzem certa quantidade de resíduos que nem sempre são reaproveitados ou tem seu destino ecologicamente correto. Dar um destino adequado a estes resíduos não é considerado uma tarefa fácil. Os produtos podem ser reutilizados diretamente ou podem ser aproveitados como matéria-prima em outros processos industriais (CASAGRANDE *et al*, 2008).

Para Culau *et al* (2012), o reaproveitamento de resíduos é uma fonte economicamente viável e ecologicamente correta para o descarte de resíduos, uma vez que evita a contaminação dos mananciais de água e do solo, colaborando assim

para a redução do impacto ambiental e, conseqüentemente, para a sustentabilidade dos ecossistemas.

Vários resíduos podem ser absorvidos pela indústria cerâmica, como os resíduos de mineração, da indústria de papel e celulose, da metalúrgica, entre outros, independente da sua origem (OLIVEIRA; HOLANDA, 2004 *apud* JUNIOR, 2009).

As incorporações de resíduos no processo produtivo de cerâmicas vermelhas tem sido um alvo de diversas pesquisas, devido às massas argilosas utilizadas serem heterogênea, e pela sua facilidade de aceitar novos materiais como componentes na matéria-prima, tais como lodo de esgoto, resíduos de mineração, escoria de siderúrgicas, pó de cimento, resíduo de galvanoplastia, entre outros (ANDREOLI, 2006).

A incorporação de resíduos na matriz cerâmica traz benefícios para a indústria, como economia de matéria-prima não renovável, obtenção de produtos com forte apelo ambiental, redução do consumo de energia e outros (LUCAS; BENATTI, 2008).

A utilização de resíduos para as indústrias de cerâmicas pode ser de uma ou mais matéria-prima da composição original por resíduo, mantendo-se o mesmo processo de produção, a fim de que as propriedades do produto sejam reproduzidas (CASAGRANDE *et al*, 2008).

Conforme Balaton (2002) *apud* Teleoken (2011), alguns aspectos importantes devem ser considerados quanto à incorporação de resíduos em materiais cerâmicos, que dizem a respeito à compatibilidade entre o resíduo e o material cerâmico, bem como a compatibilidade do produto obtido com o meio ambiente.

É possível reutilizar uma grande variedade de resíduos sólidos na cerâmica vermelha proporcionando uma solução ambientalmente correta, com um descarte adequado para esses resíduos (SEGADÃES *et al*, 2004 e DONDI, 2004 *apud* TELEOKEN, 2011).

2.6 PRODUÇÃO MAIS LIMPA

Para CNTL (2003), a Produção Mais Limpa (P+L) é definida como uma estratégia técnica, econômica e integrada aos processos e produtos, para aumentar

a eficiência do uso de matéria-prima, energia e água, minimizando os resíduos e emissões geradas, contribuindo com o meio ambiente, saúde e a economia.

Conforme cita Werner; Bacarji; Hall (2009, p. 2):

Em 1989, a expressão “Produção Mais Limpa” foi lançada pela UNEP (*United Nations Environment Program*) e pela DTIE (*Division of Technology, Industry and Environment*) como sendo a aplicação contínua de uma estratégia integrada de prevenção ambiental a processos, produtos e serviços, visando o aumento da eficiência da produção e a redução dos riscos para o homem e o meio ambiente.

Para Oliveira; Maganha (2008), a P+L é considerada uma tarefa desafiadora, com esta ferramenta é possível construir uma visão de futuro para as empresas, expandir e ampliar o negócio, obtendo assim, simultaneamente, benefícios ambientais e econômicos na gestão de processos.

Uma das principais vantagens da P+L é que a empresa adquire um conhecimento melhor do seu processo industrial por meio do monitoramento constante, que possibilita a empresa identificar as necessidades de pesquisa aplicada, informação tecnológica e programas de capacitação (CNTL, 2003).

O programa de P+L também integrará os sistemas de qualidade, gestão ambiental, segurança e saúde operacional, proporcionando o conhecimento do sistema de gerenciamento da empresa (CNTL, 2003).

Os consumidores estão cada vez mais exigentes e preferindo produtos ‘ambientalmente corretos’, isto é, a empresa fabricante deve ser responsável pela qualidade de seus produtos e por suas práticas produtivas em relação ao meio ambiente, deste modo a P+L visa promover o desenvolvimento sustentável (CASTRO, 2007).

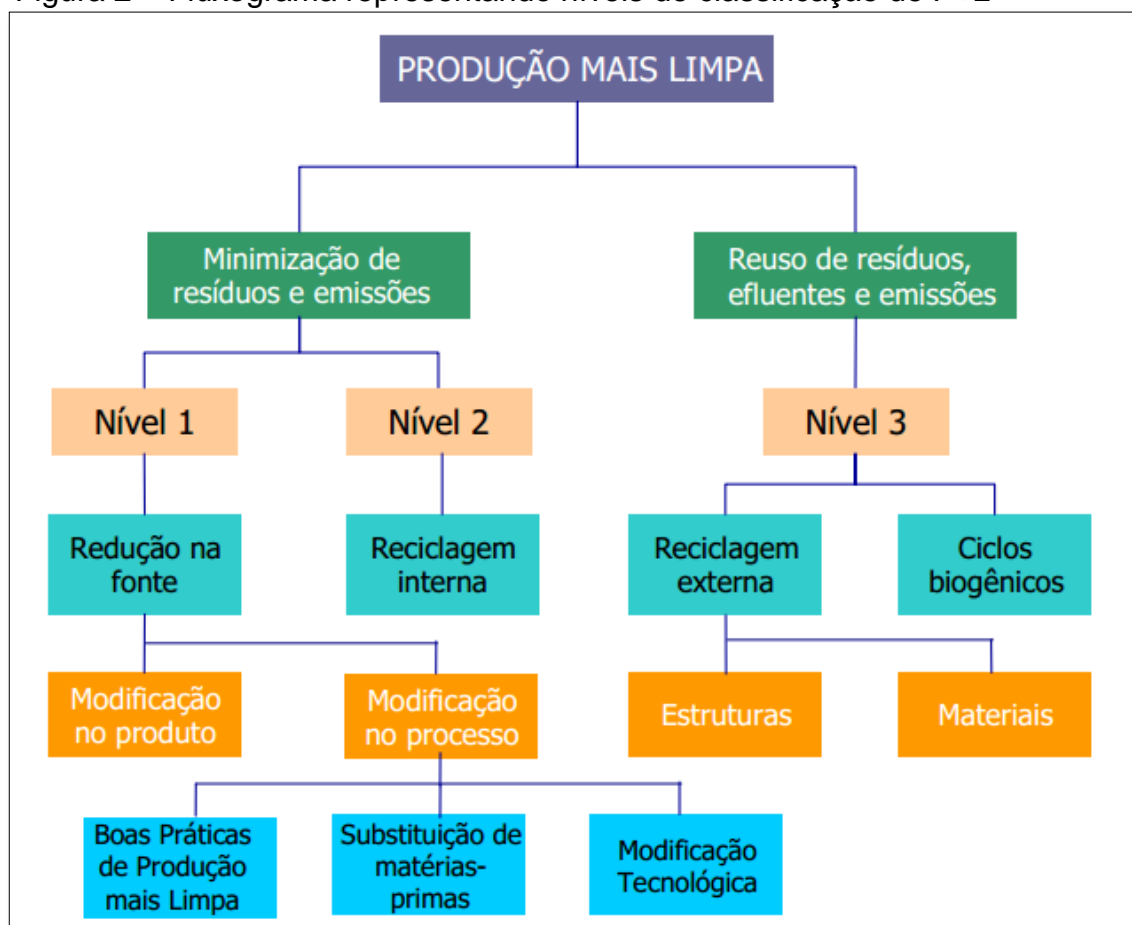
Conforme CNTL (2003), além dos benefícios ambientais, a P+L traz para as empresas benefícios econômicos que resultam na eficiência global do processo produtivo por meio de:

- eliminação dos desperdícios;
- minimização ou eliminação de matérias-primas e outros insumos impactantes para o meio ambiente;
- redução dos resíduos e emissões;
- redução dos custos de gerenciamento dos resíduos;
- minimização dos passivos ambientais, e
- incremento na saúde e segurança no trabalho.

Por tudo isso vale à pena adotar a prática de P+L, principalmente se a empresa for pequena ou média e esteja dando os primeiros passos no mercado, pois fica mais fácil trabalhar essa prática desde começo. Ao contrário do que possa parecer num primeiro momento, grande parte das medidas são muito simples (OLIVEIRA; MAGANHA, 2008).

Segundo CNTL/SENAI-RS (2003), a P+L pode ser classificada em três níveis, conforme é ilustrado no fluxograma da Figura 2.

Figura 2 – Fluxograma representando níveis de classificação de P+L



Fonte: CNTL/SENAI-RS, 2003

2.7 REJEITOS DA MINERAÇÃO

A partir da conferência mundial sobre meio ambiente, realizada em Estocolmo, na Suécia, em 1972, a preocupação com as questões ambientais mudou e começou a fazer parte das políticas de desenvolvimento adotadas, principalmente, nos países mais avançados (KOPEZINSKI, 2000).

Uma das atividades mais exercida pelo ser humano é minerar, onde buscam fonte de sobrevivência e produção dos seus bens sociais e industriais (KOPEZINSKI, 2000).

O uso dos minerais tem cada vez mais influência sobre a vida e o desenvolvimento de um país. Cada dia que passa se necessita de maior quantidade de matéria-prima para atender as crescentes necessidades do ser humano (LUZ, 2010).

A atividade mineral requer, para seu êxito, o uso de uma tecnologia evoluída e aplicável por uma equipe qualificada, pois quando exercida, sem técnicas adequadas e sem controle, pode deixar uma degradação na área que abriga (KOPEZINSKI, 2000).

Para Herrmann (2010), quando bem conduzida, a atividade mineral não compromete o ambiente onde é desenvolvida. Há técnicas que possibilitam a harmonização desses dois interesses o mineral e a proteção ambiental.

O carvão é um recurso natural não renovável que, com sua extração, mesmo que se desenvolva com técnicas adequadas, sempre haverá um dano ambiental, que poderá ser corrigido por meio da reabilitação de áreas degradadas (MACHADO, 2007).

Os principais tipos de resíduos gerados pela atividade de mineração são os estéreis e os rejeitos. Os estéreis são gerados pelas atividades de extração ou lavra no decapeamento da mina a céu aberto, os mesmos não têm valor econômico e são geralmente dispostos em pilhas (BOSCOV, 2008).

Os rejeitos são aqueles resíduos resultantes dos processos de beneficiamento a que são submetidos os minérios. Esses processos geram uma grande quantidade de rejeitos, que podem ser dispostos em superfície, cavidades subterrâneas ou em ambientes subaquáticos (BOSCOV, 2008).

Estes processos têm como finalidade padronizar o tamanho dos fragmentos, remover minerais associados sem valor econômico e aumentar a qualidade, pureza ou teor do produto final (BOSCOV, 2008).

Podem ser encontrados rejeitos com variadas características geotécnicas, físico-químicas e mineralógicas, devido o tipo de minério processado e dos tratamentos adotados. Os rejeitos, quando de granulometria fina, são denominados lama, e, quando de granulometria grossa (acima de 0,074 mm), são denominados rejeitos granulares (ESPÓSITO, 2000 *apud* DUARTE, 2008).

A seleção dos métodos para a disposição dos rejeitos depende da natureza do processo de mineração, das condições geológicas e topográficas da região, das propriedades mecânicas dos materiais e do poder de impacto ambiental do contaminante dos rejeitos (DUARTE, 2008).

Conforme a Lei 12.305 de 2010, a disposição final ambientalmente adequada é definida como distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos (BRASIL, 2010).

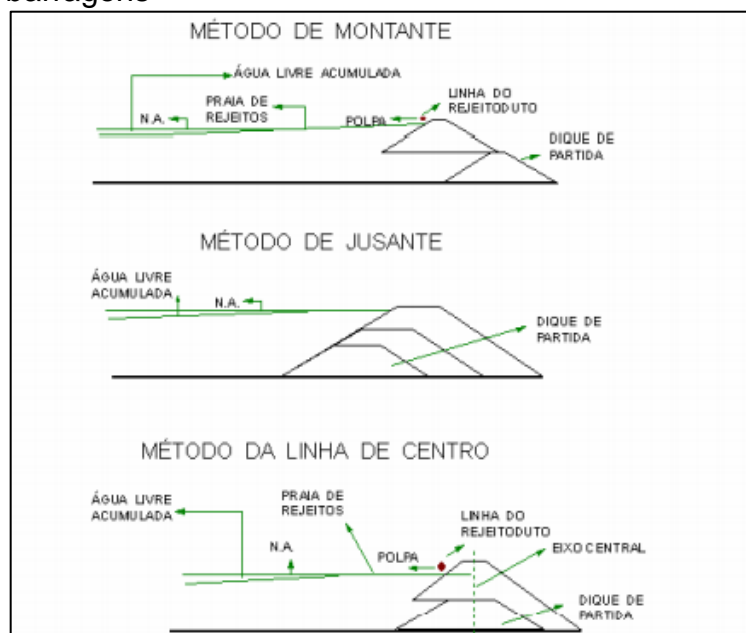
Geralmente, estes rejeitos são depositados sobre a superfície do terreno, em bacias de disposição formadas por barragens ou diques, assim, evita-se que percolados atinjam águas superficiais e subterrâneas (BOSCOV, 2008). Estas barragens podem ser construídas utilizando-se solos, rejeitos e estéréis.

Conforme Duarte, (2008, p. 20):

As barragens de contenção de rejeitos são estruturas construídas ao longo do tempo visando à diluição dos custos no processo de extração mineral, através de alteamentos sucessivos. Assim, um dique de partida é construído inicialmente e a barragem passa por alteamentos ao longo de sua vida útil, podendo ser construídas com material compactado proveniente de áreas de empréstimo, ou com o próprio rejeito, através de três métodos: montante, jusante ou linha de centro.

Os três métodos de barragens de contenção de rejeitos podem ser melhor visualizada, de acordo com a Figura 3.

Figura 3 – Métodos de alteamentos de barragens



Fonte: ESPÓSITO, 2000 *apud* DUARTE, 2008

Com relação aos métodos de construção de barragens, o método de montante é o mais antigo, simples e econômico. Embora seja o mais utilizado pela maioria das mineradoras, esse método apresenta um baixo controle construtivo, tornando-se crítico principalmente em relação à segurança (DUARTE, 2008).

No método de jusante, as vantagens envolvidas no processo de alteamento, consistem no controle do lançamento e da compactação, de acordo com técnicas convencionais de construção. Entretanto, as barragens alteadas pelo método de jusante apresentam maiores custos associados ao processo de ciclonagem ou ao empréstimo do material, pois necessitam de maiores volumes de material para construção (DUARTE, 2008).

As barragens alteadas pelo método de linha de centro apresentam uma solução intermediária entre os dois métodos citados anteriormente, até mesmo em termos de custo, embora seu comportamento estrutural se aproxime do método jusante (BOSCOV, 2008).

No Brasil, os principais problemas decorrentes da mineração podem ser englobados em quatro categorias: poluição do ar, poluição da água, poluição sonora e subsidência do terreno. Assim então, provocando alguns efeitos não desejados como: alterações ambientais, conflitos de uso do solo, depreciação de imóveis circunvizinhos, geração de áreas degradadas e transtornos ao tráfego urbano (FARIAS, 2002).

Um das preocupações para região sul do Brasil é a estocagem de rejeitos das minerações de carvão. Os responsáveis por toda a produção de carvão são os estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (KOPEZINSKI, 2000).

Na região carbonífera de Santa Catarina, existe uma grande diversidade de áreas que estão recobertas de rejeitos carbono-piritosos provenientes de antigas minerações. Sendo que muito desses rejeitos estão expostos sem controle algum, assoreando as drenagens, gerando fumaça e gases nocivos e sofrendo queimas espontâneas, além de estar aterrando áreas baixas e alagadiças (AMARAL, 2011).

Para Alexandre e Krebs (1995), a disposição de rejeitos inadequada sem compactação e o não revestimento de taludes com argila e vegetação, favorecem facilmente a oxidação da pirita, pois o oxigênio presente no ar e a umidade contribuem para a formação do ácido.

Conforme Comitê Gestor (2002) *apud* Herrmann (2010), no Brasil, na região carbonífera de Santa Catarina, registra problemas ambientais, que atingem as bacias hidrográficas dos rios Araranguá, Tubarão e Urussanga, afetando 39 municípios com cerca de 650.000 habitantes.

Os maiores impactos ambientais gerados a partir da atividade extrativa do carvão são oriundos do beneficiamento, que produz rejeitos sólidos, que quando dispostos inadequadamente, facilitam a percolação e a infiltração de água da superfície em subsolo e também possibilitaram a geração de DAM (Drenagem Ácida de Mina) e o impacto visual (ZINGANO; KOPPE; COSTA, 2002).

A percolação de água por meio de rejeitos gerados nas atividades de lavra de beneficiamento na atividade de mineração causa a drenagem ácida de mina, tendo um efeito significativo no meio ambiente (FARFAN; BARBOSA; SOUZA, 2004).

A poluição hídrica na região carbonífera é causada pela DAM, onde degrada seriamente o habitat natural, a qualidade das águas, pois ficam impróprias para o consumo humano e o desenvolvimento natural da flora e da fauna aquática (FARFAN; BARBOSA; SOUZA, 2004).

A DAM é caracterizada por apresentar pH com valores baixos 2,0 por exemplo, com elevados teores de sulfatos (2000 mg/L) e ferro (FARFAN; BARBOSA; SOUZA, 2004).

Para Herrmann (2010), a ocorrência de drenagens ácidas não é somente relacionada às atividades de mineração, mas a toda atividade humana que provoque exposição de grandes volumes de materiais rochosos com minerais sulfetados, que poderão ser oxidados, sendo iniciado o processo de DAM.

2.8 AÇÃO CIVIL PÚBLICA

A mineração de carvão gerou bastante degradação ambiental e, para a recuperação desses passivos ambientais, o Ministério Público Federal (MPF) propôs uma Ação Civil Pública (ACP), perante a Justiça Federal na região sul de Santa Catarina (JFSC, 2012).

Nesta ACP do Carvão foi determinado que as empresas e órgãos ambientais deveriam apresentar projetos de recuperação ambiental para a região que compõe a Bacia Carbonífera do Sul Catarinense, incluindo as áreas de

depósitos de rejeitos e estéreis, áreas mineradas a céu aberto e minas abandonadas (JFSC, 2012). Os depósitos de rejeitos podem ser constituídos por resíduos carbonosos gerados no processo de beneficiamento de carvão, como as tortas de rejeito.

Para recuperação, atendem-se os critérios técnicos judicialmente homologados, os quais devem constar nos Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas (PRADs) que foram, inclusive, padronizados. Além disso, deve-se seguir os cronogramas de finalização das obras de recuperação definidos pelo MPF (JFSC, 2012).

Há também, o Grupo de Assessoramento do Juízo (GTA), o qual é composto por técnicos da área de mineração e ambiental, e responsáveis por promover monitoramento ambiental da região (JFSC, 2012).

Com a ACP, reconheceu-se a necessidade de elaborar um relatório de proposta de indicadores ambientais e planos de monitoramento para as áreas degradadas pela mineração de carvão, monitorando: recursos hídricos, superficiais e subterrâneos, biota, cobertura do solo e as bocas de minas abandonadas (JFSC, 2012).

3 METODOLOGIA

Inicialmente, a fim de atingir os objetivos propostos, realizou-se um estudo de caso em uma empresa de cerâmica vermelha. A metodologia consiste na identificação e apresentação de métodos utilizados para a elaboração e desenvolvimento do projeto de reaproveitamento de um resíduo sólido gerado pelo processo de beneficiamento de carvão, popularmente denominado de rejeito carbonoso. Este resíduo a ser utilizado no estudo é a torta de rejeito do filtro prensa.

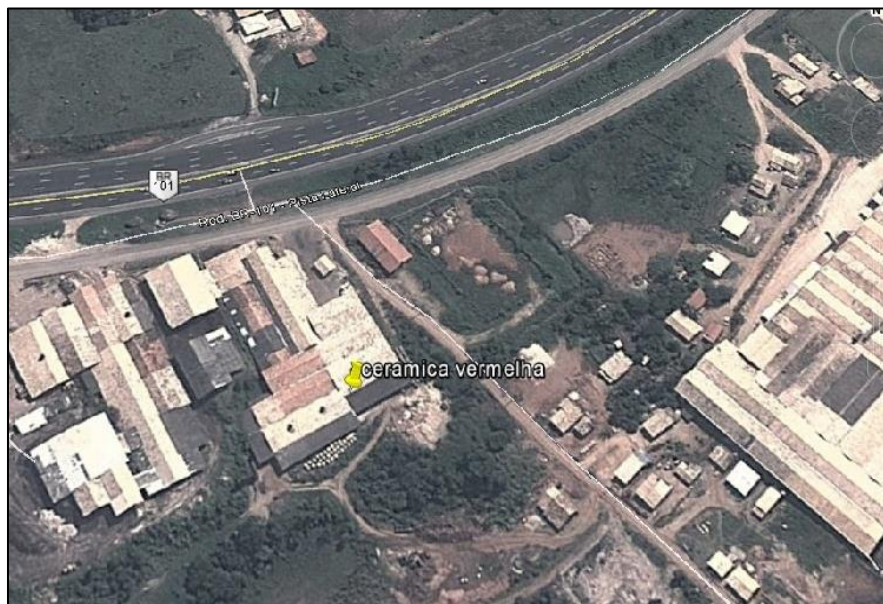
O projeto consiste em diferentes etapas, as quais são: coleta de amostras da argila e da torta de rejeito, caracterização da composição química e da umidade de ambas as amostras, classificação do resíduo conforme a ABNT/NBR 10004/2004, desenvolvimento de corpos de prova com 100% de argila (corpo de prova padrão), 98% de argila com 2% de torta de rejeito (corpo de prova 2%) e 96% de argila com 4% de torta de rejeito (corpo de prova 4%), e ensaios de retração de secagem e de queima, umidade, perda ao fogo, absorção de água, cor de queima e resistência à flexão.

Os ensaios necessários para caracterização das amostras dos materiais *in natura* (argila e torta de rejeito) e dos corpos de prova foram realizados nas dependências do Laboratório da Indústria Carbonífera Rio Deserto (Empresas Rio Deserto) e no Centro de Tecnologia de Materiais (CTCMat – Senai).

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área objeto de estudo desse projeto de reaproveitamento é uma indústria cerâmica. Esta empresa em questão foi fundada em 1990, na região sul no estado de Santa Catarina (Figura 4) e trabalha com a fabricação de tijolos e revestimentos aparente, como mostra a Figura 5, sendo que sua produção mensal é em torno de 525.000 tijolos. Atualmente, a empresa conta com quinze (15) colaboradores, fornecendo mercadorias para vários estados do Brasil.

Figura 4 – Imagem de satélite ilustrando localização da indústria cerâmica



Fonte: Google Earth, 2014

Figura 5 – Produtos fabricados na cerâmica em estudo



Fonte: Da autora, 2014

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ARGILA E TORTA DE REJEITO

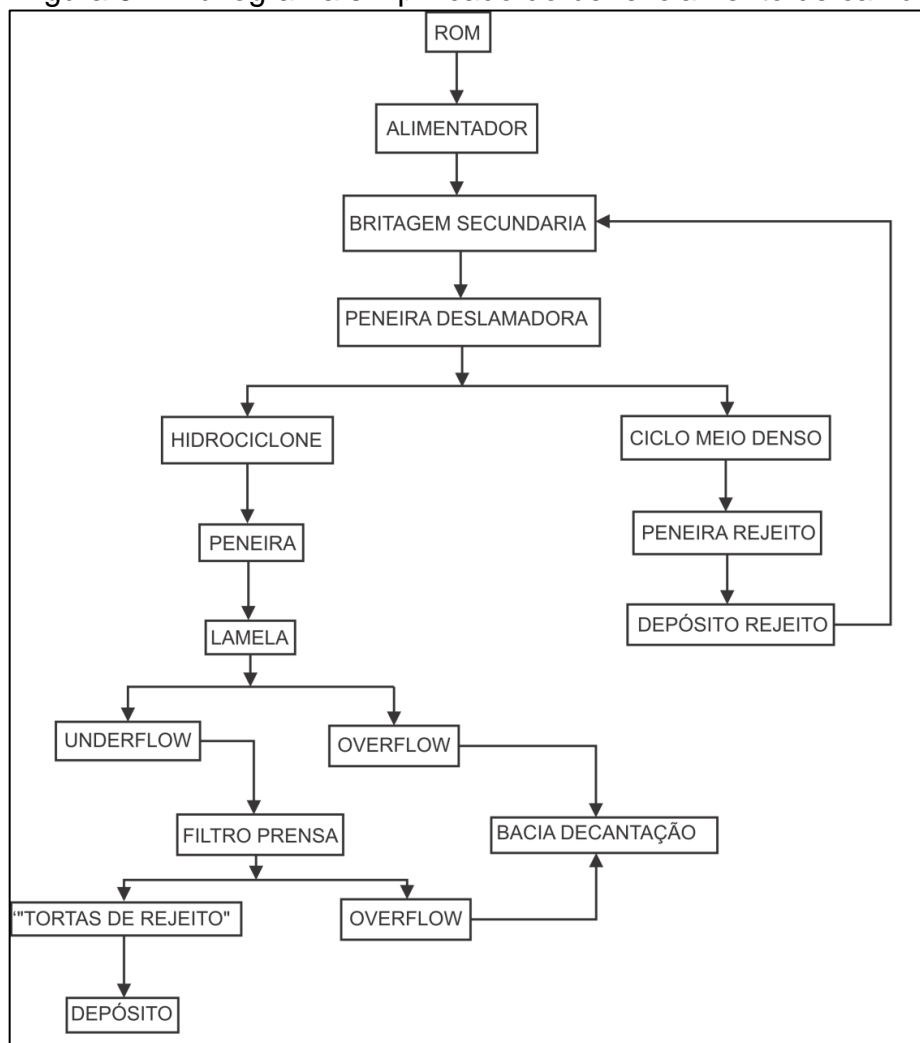
Para realização dos estudos, primeiramente, foram coletados 6 kg de amostras de argila do equipamento mecânico denominado caixão alimentador ou silo. Para a formação da amostra, os incrementos foram coletados com intervalos de

1 hora durante um período de 6 horas, a fim de obter uma amostra mais representativa.

Esta amostra foi quarteada e reduzida em 3 kg, para posteriores ensaios laboratoriais de umidade total e composição química.

Com relação ao resíduo denominado torta de rejeito do processo de beneficiamento do carvão, a coleta foi realizada na saída do filtro prensa, da indústria carbonífera Rio Deserto, mais especificamente na Mina 101, onde é realizado a extração e o beneficiamento do carvão. Na Figura 6 é apresentado o fluxograma de beneficiamento do carvão, demonstrando as etapas do processo, sendo que os rejeitos finos, depois de adensados no decantador de lamelas, vão para o filtro prensa, (Figura 7), onde se obtém a torta de rejeitos, conforme a Figura 8.

Figura 6 – Fluxograma simplificado do beneficiamento de carvão



Fonte: Da autora, 2014

Figura 7 – Filtro prensa



Fonte: Da autora, 2014

Figura 8 – Torta de rejeito



Fonte: Da autora, 2014

A amostra da torta de rejeito foi coletada no dia 30 de abril de 2014 a uma quantidade de 1000 kg, com o intuito de realizar os ensaios de composição química e umidade da mesma e, posteriormente, ser incorporada na massa cerâmica.

Além dos ensaios de composição química e umidade total, da argila e da torta de rejeito, também foram realizados ensaios de classificação do resíduo carbonoso de acordo com a ABNT/NBR 10004/2004, tendo como finalidade,

classificar o mesmo quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ter destinação adequada e atender a legislação aplicável.

Vale ressaltar que ambas as amostras (argila e torta de rejeito) foram encaminhadas ao laboratório de argilominerais, da empresa Rio Deserto, para a realização dos ensaios de umidade total e composição química citados a seguir, e também da classificação do resíduo torta de rejeito de acordo com a ABNT/NBR 10004/2004.

3.2.1 Umidade total

A determinação da umidade total foi realizada, conforme o procedimento da ABNT/NBR 8293/1983. O método consiste em determinar a perda de massa da amostra. Estas passaram por uma estufa de laboratório a 120°C (\pm 25°C) para eliminação da umidade e cálculo do percentual. Pesou-se as amostras, antes e depois da secagem, e o cálculo foi realizado com o auxílio da equação 1.

$$\%U = \frac{P_i - P_f}{P_f} \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Sendo %U o percentual de umidade da amostra (%), P_i o peso inicial em gramas e P_f o peso final após a secagem da amostra também em gramas.

3.2.2 Composição química

Posteriormente, foi determinada a composição química das amostras de argila e da torta de rejeito, ambas *in natura*, em equipamento de absorção atômica, marca Pelkin Elmer, o qual pode ser visualizado na Figura 9. Para preparação das amostras, foi utilizado a ABNT/NBR 13809/1997 referente a tratamento preliminar de amostras para determinação de metais. Este ensaio laboratorial visa determinar os percentuais dos seguintes óxidos: dióxido de silício (SiO_2), óxido de alumínio (Al_2O_3), dióxido de titânio (TiO_2), óxido de ferro (Fe_2O_3), óxido de potássio (K_2O), óxido de sódio (Na_2O), óxido de magnésio (MgO), óxido de cálcio (CaO), óxido de manganês (MnO), bem como da perda ao fogo (PF).

Para a determinação dos mesmos, utilizaram-se os seguintes métodos:

- ABNT/NBR 13807/1997 - Determinação de alumínio;

- ABNT/NBR 13811/1997 - Determinação de sódio e potássio;
- ABNT/NBR 13812/1997 - Determinação de cálcio e magnésio;
- ABNT/NBR 13815/1997- Determinação de ferro;
- CETESB L5.133/1990 - Determinação de manganês.

Figura 9 – Equipamento de absorção atômica



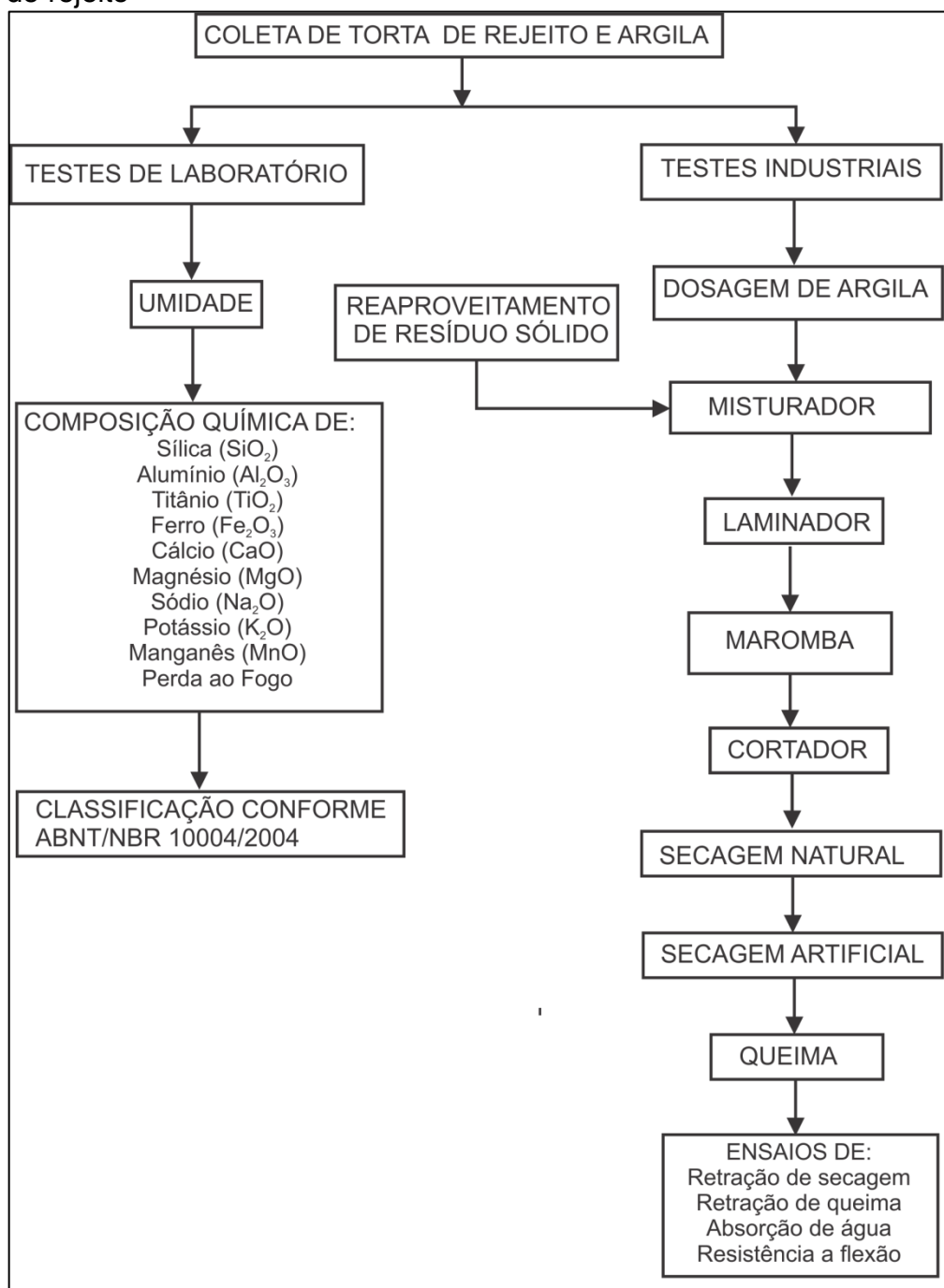
Fonte: Da autora, 2014

3.3 DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS UTILIZANDO TORTA DE REJEITO

No teste industrial, os produtos são representados pelos corpos de prova, sendo que foram produzidos vinte (20) corpos de prova para cada formulação. As formulações dos corpos de prova são: massa cerâmica com 100% de argila, massa cerâmica com 98% de argila com 2% de torta de rejeito e, por fim, massa cerâmica com 96% de argila com 4% de torta de rejeito.

Após a etapa de formulação dos corpos de prova que possuem percentual de resíduo incluso na massa cerâmica, ocorreu o processo de laminação e extrusão dos corpos de prova, conforme pode ser melhor entendido com o auxílio da Figura 10.

Figura 10 – Fluxograma da cerâmica com o reaproveitamento de torta de rejeito



Fonte: Da autora, 2014

Vale ressaltar que para a definição da adição de 2% e 4% de torta de rejeito na massa cerâmica utilizou-se os resultados do relatório realizado em 2012 pela Indústria Carbonífera Rio Deserto. Neste consta a utilização de 5%, 10%, 25%, 50% de torta de rejeito, e respectivamente, 95%, 90%, 85%, 50% de argila, também para a formulação de corpos de prova na cerâmica vermelha. Por meio dos resultados obtidos neste estudo, constatou-se que a partir da adição de 5% da torta

de rejeito, foi identificado o “coração negro” nos corpos de prova. Estes são definidos como manchas escuras ou esbranquiçadas no interior (secção) da massa das plaquetas, podendo ser melhor visualizado na Figura 11.

Essas manchas são formadas por gases e materiais orgânicos que não relaxaram durante o ciclo de queima e baixa temperatura. Os produtos com "coração negro" podem inchar (estufar), descolar, folhear, gretar, trincar, formar bolhas, erupções e provocar manchas e descolorações em seus espelhos (superfícies).

Figura 11 – Tijolos com “coração negro”.



Fonte: Bar, 2003

Depois de conformados, os corpos de prova foram tratados por secagem natural e artificial, para então serem submetidos ao processo de queima no forno da cerâmica.

Os corpos de prova foram submetidos aos ensaios de retração de secagem, retração de queima, umidade, perda ao fogo, absorção de água, cor de queima e resistência à flexão, sendo que estes se encontram melhor explicados abaixo.

Vale comentar, ainda, que estes ensaios foram realizados com o intuito de comparar as propriedades do produto comumente comercializado com o produto com diferentes formulações de resíduo em sua composição.

3.3.1 Retração de secagem

Nos ensaios de retração de secagem, ou seja, da perda de massa durante a etapa de secagem, foi realizado conforme LAB 682, procedimento desenvolvido pelo laboratório da Rio Deserto. Mediu-se os corpos de prova por meio de paquímetro antes e depois da secagem. Esta secagem ocorreu natural durante 6 dias e artificialmente durante 4 dias. E a determinação foi realizada a partir da equação 2.

$$\%RS = \frac{Li-Lf}{Li} \times 100 \quad (\text{Equação 2})$$

Sendo %RS a retração de secagem (%), Li o comprimento inicial e Lf o comprimento final, ambos em milímetros (mm).

3.3.1.1 Umidade

Na retração linear de secagem, foi determinada a umidade dos corpos de prova. Pesou-se os mesmos crus e também após a secagem (secos). A equação utilizada para a determinação da umidade foi a equação 3.

$$\%U = \frac{Pi-Pf}{Pf} \times 100 \quad (\text{Equação 3})$$

Sendo %U o percentual de umidade dos corpos de prova (%), Pi o peso inicial em gramas e Pf o peso final após a secagem dos corpos de prova também em gramas.

3.3.2 Retração de queima

Para a determinação de retração de queima, foi utilizada a norma LAB 683, procedimento também do laboratório. Após a secagem, encaminhou-se os corpos de prova para o forno da cerâmica do tipo “garrafão”, no qual foram queimados em uma temperatura entre 300°C e 900°C, com ciclo de queima de 6 dias. Mediu-se novamente os corpos de prova após o processo de queima, para a determinação da retração linear de queima (variação das dimensões de um corpo

devido á perda de material ou reações durante o processo de queima), de acordo com a equação 4.

$$\%RQ = \frac{Li-Lf}{Li} \times 100 \quad (\text{Equação 4})$$

Sendo %RQ o percentual de retração de queima (%), e Li e Lf os comprimentos inicial e final, respectivamente, ambos em milímetros.

3.3.2.1 Perda ao fogo

Na retração linear de queima, foi determinada a perda ao fogo, que significa a perda de massa dos corpos de prova. Para a determinação, os corpos de prova foram pesados após a secagem e depois do processo de queima. Foi utilizado a equação 5, para a determinação da mesma.

$$PF = \frac{ms-mf}{mf} \times 100 \quad (\text{Equação 5})$$

Sendo PF o percentual de perda ao fogo, ms massa do corpo de prova após a secagem, mf massa final do corpo de prova.

3.3.3 Absorção de água

Outro teste realizado foi a absorção de água, que é a quantidade de água que uma peça pode absorver, conforme a norma LAB 684, específica do laboratório a que foram submetidos os ensaios. Para isso, os corpos de prova queimados foram pesados e, posteriormente, mergulhados em uma caixa, chamada de “banho maria”, com água fervente, conforme Figura 12, durante um período de 2 horas. Depois de retirados da caixa, eliminou-se o excesso de água com um pano limpo e, em seguida, pesou-se novamente. A equação utilizada para determinar a absorção de água é representada pela equação 6.

$$\%Aa = \frac{Pu-Ps}{Ps} \times 100 \quad (\text{Equação 6})$$

Sendo %Aa a absorção de água em percentual, Pu o peso úmido e Ps o peso seco, ambos em gramas (g).

Figura 12 – Ensaio de absorção de água.



Fonte: Da autora, 2014

3.3.4 Cor de queima

Para realização da cor de queima, foram comparadas as cores obtidas nos corpos de prova com 100% de argila, 98% de argila (e, conseqüentemente, 2% de torta de rejeito) e 96% de argila (com 4% de torta de rejeito).

3.3.5 Resistência à flexão

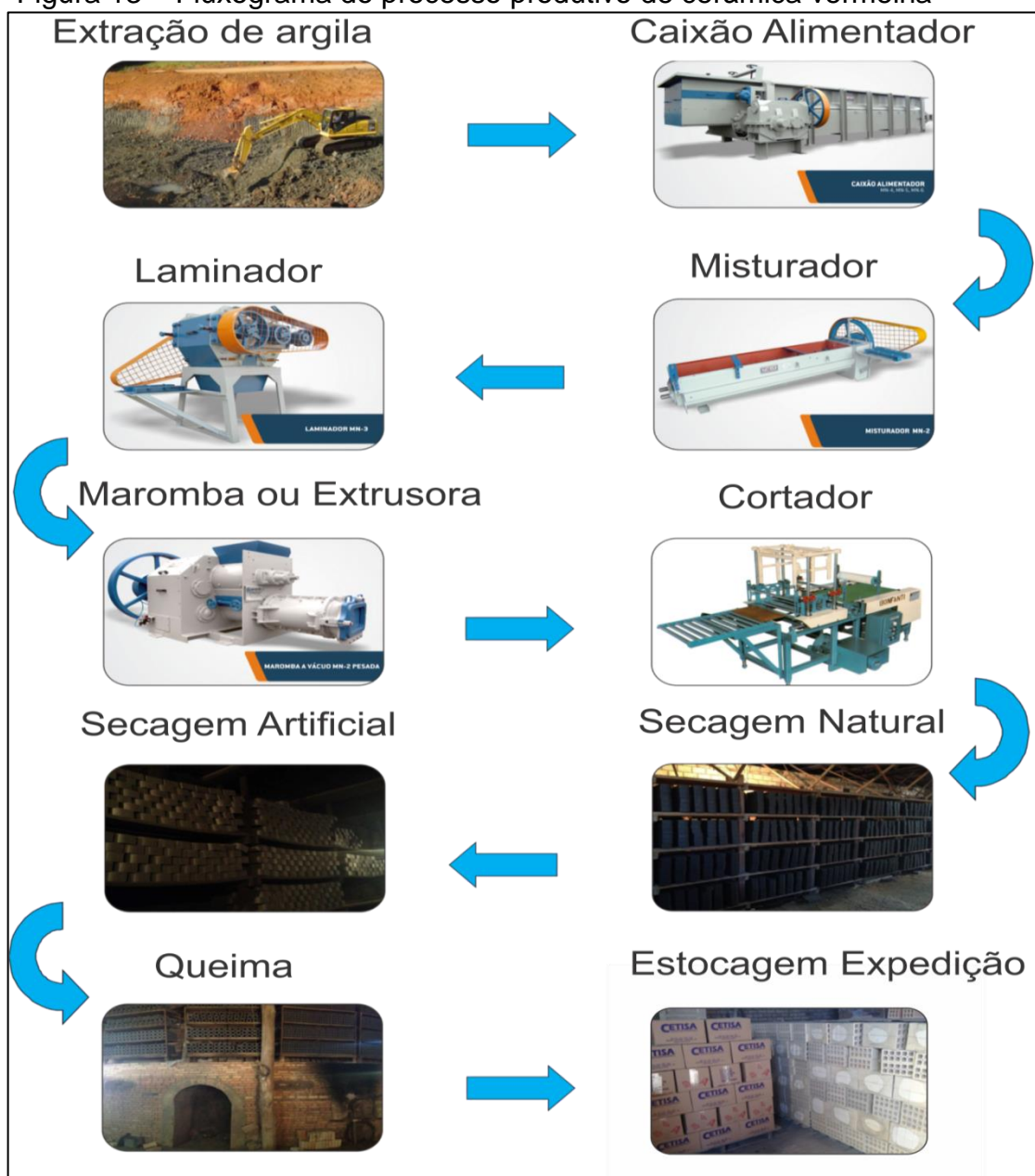
O ensaio referente à resistência a flexão dos corpos de prova foi realizado por laboratório terceiro, mais especificamente o laboratório CTCMat – Senai, em Criciúma/SC, conforme a NBR 13818/97.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

4.1 PROCESSO PRODUTIVO DA CERÂMICA VERMELHA

O processo produtivo para obtenção dos tijolos cerâmicos ocorre de acordo com o fluxograma (Figura 13) e, a seguir, será mais detalhada cada etapa do processo produtivo.

Figura 13 – Fluxograma do processo produtivo de cerâmica vermelha



Fonte: Da autora, 2014

4.1.1 Recebimento de matéria-prima

As matérias-primas para o processo produtivo chegam por meio de caminhões e são colocadas em um pátio, conforme Figura 14. Conforme a necessidade, é encaminhada a quantidade de argila desejada para o caixão alimentador.

Figura 14 – Estocagem de argila



Fonte: Da autora, 2014.

4.1.2 Preparação da massa

Primeiramente, ocorre à dosagem de argila no caixão alimentador, que é a quantidade de argila necessária para a produção e, em seguida a argila é transportada por correias para o misturador (Figura 15). Este equipamento tem como função principal misturar os diversos tipos de argila, promovendo a quebra de torrões e uma ótima homogeneização da massa.

Figura 15 – Processo de misturador



Fonte: Da autora, 2014

Após o misturador, a argila segue para o laminador, onde realiza-se o processo de eliminação dos pedregulhos e completa a mistura da massa, distribuindo melhor a água na argila. O resultado final é o melhor acabamento e maior resistência do produto cerâmico.

Após a laminação, a massa segue para a extrusura ou maromba, que consiste em forçar por pressão a massa a passar pelo molde de peça a ser conduzida, conforme mostra a figura 16.

Figura 16 – Extrusora/maromba



Fonte: Da autora, 2014

A preparação da massa termina com o processo de corte (figura 17), que é realizado por um cortador usado para dar a dimensão desejada ao produto. As peças cortadas são retiradas manualmente e transportadas por carrinhos pelos próprios funcionários.

Figura 17 – Processo de corte



Fonte: Da autora, 2014

4.1.3 Processamento térmico

Após a preparação da massa, os tijolos continuam a conter água, então, para evitar tensões e defeitos nas peças, é necessário que os tijolos passem por um processo de secagem. Esta etapa é composta por duas operações, nas quais os tijolos adquirem suas propriedades finais. Estas consistem na secagem dos tijolos natural e artificial.

Na secagem natural (Figura 18), os tijolos são colocados em prateleiras, sendo secos pelo ar que corre entre estas prateleiras. Geralmente, os tijolos ficam expostos por uma semana e, logo em seguida, se for necessário, são encaminhados para a secagem artificial, que ocorre durante 4 dias. Também são expostos os tijolos em cima dos fornos, para aproveitar o calor proveniente dos mesmos.

Figura 18 – Secagem natural



Fonte: Da autora, 2014

A secagem artificial, chamada de “estufas” (Figura 19), é realizada com ajuda de fonte geradora de calor, sendo utilizado mais no inverno, atingindo uma temperatura de 50°C a 150°C, ou pelo aproveitamento do calor dos fornos após a queima, com temperaturas de 50°C a 70°C. O calor do forno é transmitido para a “estufa” através de um exaustor.

Figura 19 – Secagem artificial



Fonte: Da autora, 2014

Após a secagem, os tijolos são encaminhados para os fornos do tipo “garrafão”, conforme as Figuras 20 e 21. O ciclo de queima se dá durante 7 dias, iniciando com temperatura de 300°C e terminando em torno de 900°C, sendo que o combustível utilizado para queima é o eucalipto. Esse processo de queima é composto por quatro fases. A primeira fase refere-se ao esquento ou preaquecimento que é caracterizado por um aquecimento gradual para retirada de água residual, sem provocar defeitos na peça cerâmica causados por contrações, num período de 60 a 70 horas chegando a 400°C na parte inferior do forno e 700°C na parte superior do forno. Outra fase é a de fogo forte ou caldeamento, que se inicia por volta de 700°C na parte superior e 400°C na parte inferior, num período de 70 horas. Neste período de queima as fornalhas são abastecidas com um intervalo de 1 hora e 30 minutos em 15 horas, até chegar a 900°C na parte superior e 810°C na parte inferior. Na fase do patamar, a temperatura máxima de queima é mantida por um determinado período de tempo. E o resfriamento, ultima fase do processo, ocorre num período de 72 horas.

Após isso é retirado os tijolos do forno, os quais seguem para a estocagem, inspeção e expedição.

Figura 20 – Forno do tipo “garrafão”



Fonte: Da autora, 2014

Figura 21 – Interior do forno tipo “garrafão”



Fonte: Da autora, 2014

4.1.4 Inspeção, estocagem e expedição

A estocagem é realizada no pátio interno e externo da cerâmica (Figura 22) e a inspeção é feita manualmente pelos próprios funcionários. Na etapa da expedição, os tijolos são transportados até os caminhões ou carretas, por meio de empilhadeiras ou carrinho de mão.

Figura 22 – Estocagem dos tijolos



Fonte: Da autora, 2014

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA ARGILA E DA TORTA DE REJEITO

De acordo com a tabela 1, pode-se observar os resultados referente à análise físico-química da torta de rejeito.

Tabela 1 – Análises físico químicas da torta de rejeito

Parâmetros	Torta de rejeito (%)
Umidade Higroscópia	1,35
Cinzas (b.s)	68,11
Materiais Voláteis (b.s)	14,84
Carbono Fixo (b.s)	17,05
Enxofre Total (b.s)	1,33
Poder calorífico (kcal/kg)	2699

Fonte: Indústria Carbonífera Rio Deserto Ltda – Divisão Laboratório, 2014

O resíduo sólido denominado como torta de rejeitos, como já citado anteriormente, é proveniente do filtro prensa do beneficiamento do carvão, sendo que isso pode ser melhor entendido com o auxílio da figura 6. Este resíduo não está tendo utilidade na empresa, sendo, portanto, encaminhado para depósitos de rejeitos da empresa. Com o intuito de dar uma utilidade para o resíduo, foram realizados os ensaios de umidade e composição química para ambas as amostras e classificação do resíduo de acordo com a norma ABNT/NBR 10004/2004 para,

posteriormente, serem incorporados na massa cerâmica. Estes ensaios serão discutidos seguir.

4.2.1 Classificação da torta de rejeito

A norma ABNT/NBR 10004/2004 classifica os resíduos sólidos quanto a seus riscos ao meio ambiente e à saúde pública. Os resíduos sólidos são classificados em dois grupos, Classe I (resíduos perigosos) e Classe II (resíduos não perigosos), sendo ainda este último subdividido em Classe II A (resíduos não inertes) e Classe II B (resíduos inertes).

Para a classificação do resíduo foi, primeiramente, realizado o teste de corrosividade, e o mesmo não apresentou valores inferior ou igual a 2 e nem superior a 12,5, e também não apresentou reatividade, conforme a tabela 2.

Tabela 2 – Resultados dos testes de Corrosividade e Reatividade

Corrosividade		Reatividade	
Parâmetro	Torta de rejeito	Parâmetro	Torta de rejeito
pH	7,65	Sulfeto (mg/kg)	Não detectado

Fonte: Indústria Carbonífera Rio Deserto Ltda – Divisão Laboratório, 2014

O teste de lixiviação é realizado para determinar se o resíduo é como classe I (perigosos) ou classe II (não perigosos), conforme tabela 3.

Tabela 3 – Resultados de lixiviação do resíduo

Parâmetros (mg/L)	Torta de rejeito	Limite máximo no extrato (mg/L) de acordo com o anexo F da NBR 10004/04
pH lixiviado	5,24	-
Chumbo	0,05	1,0
Cromo Total	<0,005	5,0
Bário	0,29	70,0
Cádmio	ND	0,5
Prata	ND	5,0
Arsênio	<0,001	1,0
Fluoreto	<0,1	150
Mercúrio	<0,001	0,1
Selênio	<0,01	1,0

Fonte: Indústria Carbonífera Rio Deserto Ltda – Divisão Laboratório, 2014

Analisando a tabela acima, pode-se constatar que os contaminantes não demonstraram concentrações superiores aos valores constantes no anexo F da ABNT/NBR 10004/2004. Desta forma, de acordo com os resultados obtidos das análises de teste de lixiviação, corrosividade e reatividade, a amostra de torta de rejeito é caracterizada como não perigosa.

O teste de solubilização do resíduo foi realizado para diferenciar os resíduos classificados como classe II A e classe II B, sendo que os resultados obtidos encontram-se exposto na tabela 4 a seguir.

Tabela 4 – Resultados da Solubilização do resíduo

Parâmetro (mg/L)	Torta de rejeito	Limite máximo no extrato (mg/L) de acordo com o anexo G da NBR 10004/04
pH solubilizado	7,77	-
Sulfatos	197	250
Cloretos	16,46	250
Fenol	ND	0,01
Ferro Total	0,02	0,3
Manganês	0,02	0,1
Cobre	ND	2,0
Zinco	0,02	5,0
Alumínio	ND	0,2
Chumbo	0,01	0,01
Sódio	19,46	200
Cádmio	ND	0,005
Cromo Total	<0, 005	0,05
Prata	ND	0,05
Bário	0,29	0,7
Arsênio	<0, 001	0,01
Fluoreto	0,22	1,5
Mercúrio	<0, 001	0,001
Nitrogênio Nitrato	1,19	10,0
Selênio	<0,01	0,01

Fonte: Indústria Carbonífera Rio Deserto Ltda – Divisão Laboratório, 2014

Conforme os dados desta tabela, o resíduo não apresentou parâmetros com resultados superiores ao limite máximo estabelecido pelo anexo G, da ABNT/NBR 10004/2004, sendo assim, esta amostra é classificada como resíduo não perigoso inerte, ou seja, classe II B.

Na tabela 5 é possível visualizar os dados obtidos referente à umidade total de ambas as amostras coletadas.

Tabela 5 – Resultados da umidade total

Análise (%)	Argila	Torta de rejeito
Umidade Total	20,38	17,41

Fonte: Da autora, 2014

Em análise à tabela acima, pode verificar que o percentual de umidade da argila é superior ao teor de umidade total da torta de rejeito, isso em função da argila ser hidrofílica e mais plástica e, portanto, ter mais facilidade em reter a umidade. Ao contrário da torta de rejeito, que é menos plástico, conforme dados obtidos na tabela 1.

4.2.2 Composição química da argila e da torta de rejeito

Em termo de composição química, o qual será discutido a seguir, os resultados obtidos encontram-se na tabela 6.

Tabela 6 – Composição química das amostras de argila e torta de rejeito

Parâmetros (%)	Argila	Torta de rejeito	Corpo de prova 2%	Corpo de prova 4%
Dióxido de Silício SiO ₂	70,33	42,48	70,33	69,47
Óxido de Alumínio Al ₂ O ₃	15,70	16,80	14,20	14,40
Dióxido de Titânio TiO ₂	0,76	0,77	0,90	0,88
Óxido de Ferro Fe ₂ O ₃	2,57	2,18	2,62	2,66
Óxido de Cálcio CaO	0,18	1,38	0,22	0,22
Óxido de Magnésio MgO	0,44	0,56	0,45	0,45
Óxido de Sódio Na ₂ O	0,27	0,29	0,37	0,36
Óxido de Potássio K ₂ O	1,12	1,49	0,78	0,89
Óxido de Manganês	0,01	0,02	0,02	0,03

MnO				
Perda ao fogo	9,12	34,11	9,31	9,87

Fonte: Da autora, 2014

Analisando os dados acima, pode-se constatar que a argila e a torta de rejeito possuem alto teor de óxidos de alumínio e silício. No entanto, a sílica presente na torta de rejeito é bem inferior se comparada com a quantidade presente na argila, o que acarretou na diminuição do seu teor na formulação da massa cerâmica à medida que se adiciona mais resíduo. O elemento majoritário na argila é a sílica (óxido de silício). Vale destacar que adição de até 4% não ocasionou em diferenças consideradas significativas na formulação, relacionada à sílica. No caso da formulação com 98% de argila e 2% de torta de rejeito (corpo de prova 2%), o percentual de sílica não apresentou, praticamente, alterações.

Com relação ao teor de óxido de alumínio, a torta de rejeito apresenta minuciosa superioridade (16,80%) quando comparada com a argila (15,70%), entretanto, os corpos de prova com a mistura entre argila e torta de rejeito apresentam teor menor se comparados isoladamente com argila e torta de rejeito (14,20 e 14,40%), devido ao fato de a torta de rejeito ser composta por 68,11% de cinzas.

O óxido de ferro também possui um teor mais elevado quando comparado com os óxidos restantes, tanto na argila quanto na torta de rejeito. Assim, com a mistura entre argila e resíduo, o teor aumenta ainda mais.

A torta de rejeito possui um teor elevado de óxidos de cálcio, em torno de 1,38%, quando comparado com a argila, a qual apresenta teor inferior a 0,20%.

O resultado referente ao parâmetro perda ao fogo, no caso de composição química, refere-se aos voláteis presentes no carvão. Em função do poder calorífico ser maior na torta de rejeito, quanto mais torta de rejeito se adicionar à formulação da massa cerâmica, menor será o tempo de queima, bem como a quantidade de lenha utilizada para a queima dos tijolos. Sendo esse um fator de grande importância, que acarretará, inclusive, na minimização de insumos para queima (lenha) se a produção de massa cerâmica com resíduo ocorrer em escala industrial.

É importante ressaltar que a argila contém em torno de 100% de cinzas, enquanto que a torta de rejeito contém 68,11%, por isso que, conforme tabela 6, a torta de rejeito tem maior perda ao fogo quando comparado com a argila.

4.3 ANÁLISES DOS CORPOS DE PROVA

A seguir serão discutidos os resultados dos ensaios realizados com os três corpos de prova, sendo estes: padrão, 2% e 4%, conforme pode ser visualizado na tabela 7.

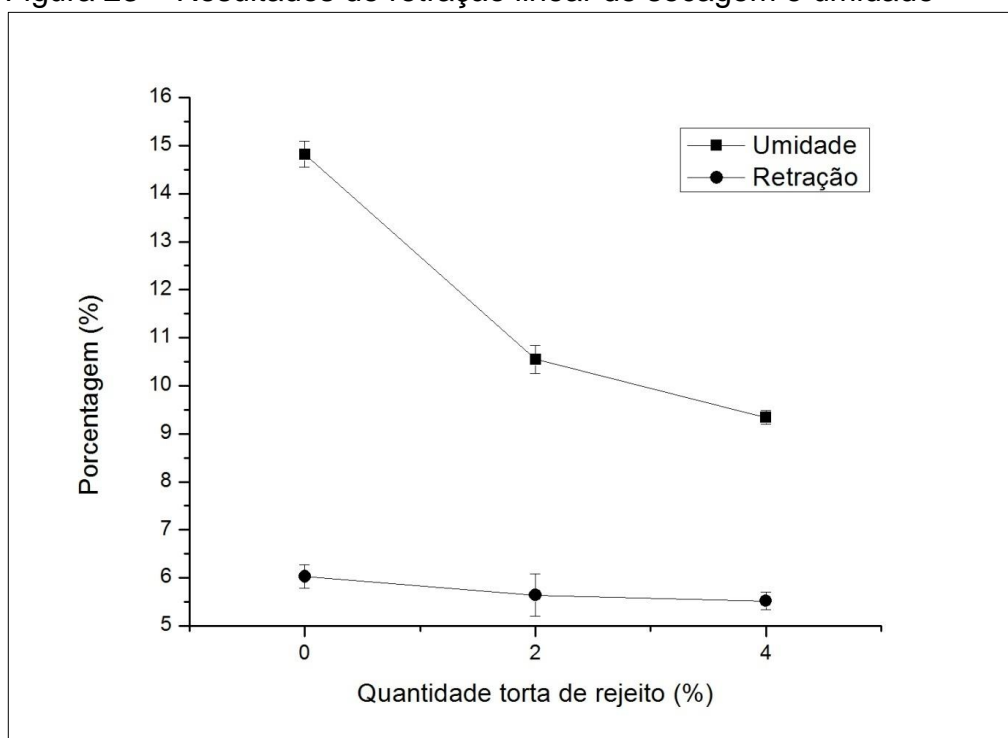
Tabela 7 – Caracterização física dos três tipos de corpos de prova

Parâmetros	Corpo de prova padrão	Corpo de prova 2%	Corpo de prova 4%
Retração linear de secagem (%)	6,03 ± 0,25	5,64 ± 0,44	5,52 ± 0,18
Umidade (%)	14,82 ± 0,27	10,55 ± 0,29	9,34 ± 0,14
Retração linear de queima (%)	1,42 ± 0,38	1,42 ± 0,38	1,31 ± 0,24
Perda ao fogo (%)	15,03 ± 0,37	20,14 ± 0,17	21,84 ± 0,78
Absorção de água (%)	15,16 ± 0,07	16,15 ± 0,03	16,36 ± 0,04
Resistência à flexão (N/mm ²)	12,60 ± 0,84	13,5 ± 0,81	13,4 ± 1,02

Fonte: Da autora, 2014

Em função de a umidade ser maior na argila do que na torta de rejeito, a argila possui característica plástica e irá retrair mais, uma vez que esta é um material de granulação fina que, normalmente, adquire determinada plasticidade quando umedecido devido a sua estrutura lamelar de sílica e alumina unidas pela água. Com a adição da torta de rejeito na massa cerâmica, este corpo de prova que é menos úmido e possui menor quantidade de argilas em sua composição, tenderá a retrair menos, em função de diminuir a propriedade de plasticidade. A Figura 23 ilustra o gráfico da relação entre umidade e retração de secagem.

Figura 23 – Resultados de retração linear de secagem e umidade



Fonte: Da autora, 2014

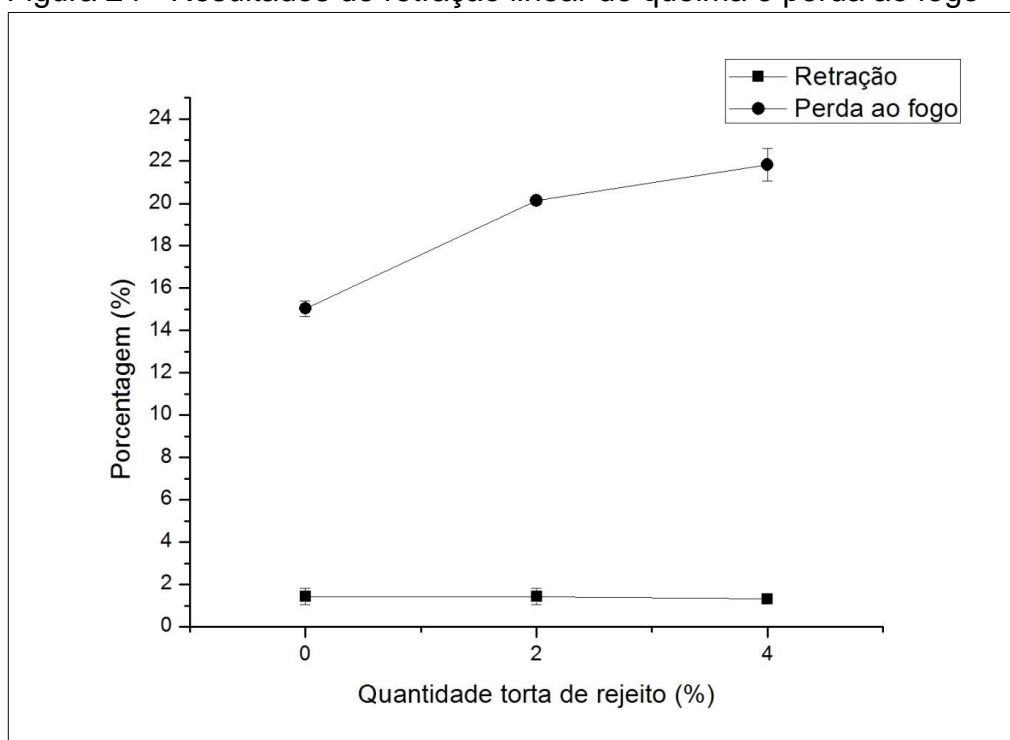
A retração linear de secagem é bem mais elevada quando relacionada à retração de queima, isso em função da maneira com que as partículas encontram-se localizadas, que ainda não passaram pelo processo de sinterização, bem como a presença de umidade, inclusive constantes no interior do número elevado de poros. Vale citar que, no momento de secagem, à medida que a umidade vai sendo removida, há ocorrência de trincas, ou seja, espaços vazios alongados devido a esta eliminação.

Durante o processo de queima, a retração está relacionada com a queima da matéria orgânica (volatilização), sendo que a torta de rejeito possui 14,84% de materiais voláteis como observado na tabela 1, e sinterização do material cerâmico, que irá diminuir suas dimensões por consequência da aproximação das partículas sólidas e difusão da mesma, resultando em um corpo sólido único.

A perda ao fogo refere-se à massa que se perde após o processo de queima. Como pode ser observado nos dados da tabela acima referente ao parâmetro perda de fogo, este é menor no corpo de prova constituído somente por argila, sendo de 15,03%. Os corpos de prova com percentuais de resíduo na formulação da massa cerâmica apresentam perda de fogo de 20,14% (corpo de prova 2%) e 21,84 (corpo de prova 4%), ou seja, perdem mais massa, conforme

gráfico da Figura 24. Isto é em função da carga orgânica presente nas tortas de rejeito, que irão ser queimadas e liberar o CO_2 para atmosfera e, conseqüentemente, aumentar a porosidade das amostras, fato comprovado experimentalmente já que houve um aumento da absorção de água.

Figura 24 - Resultados de retração linear de queima e perda ao fogo



Fonte: Da autora, 2014

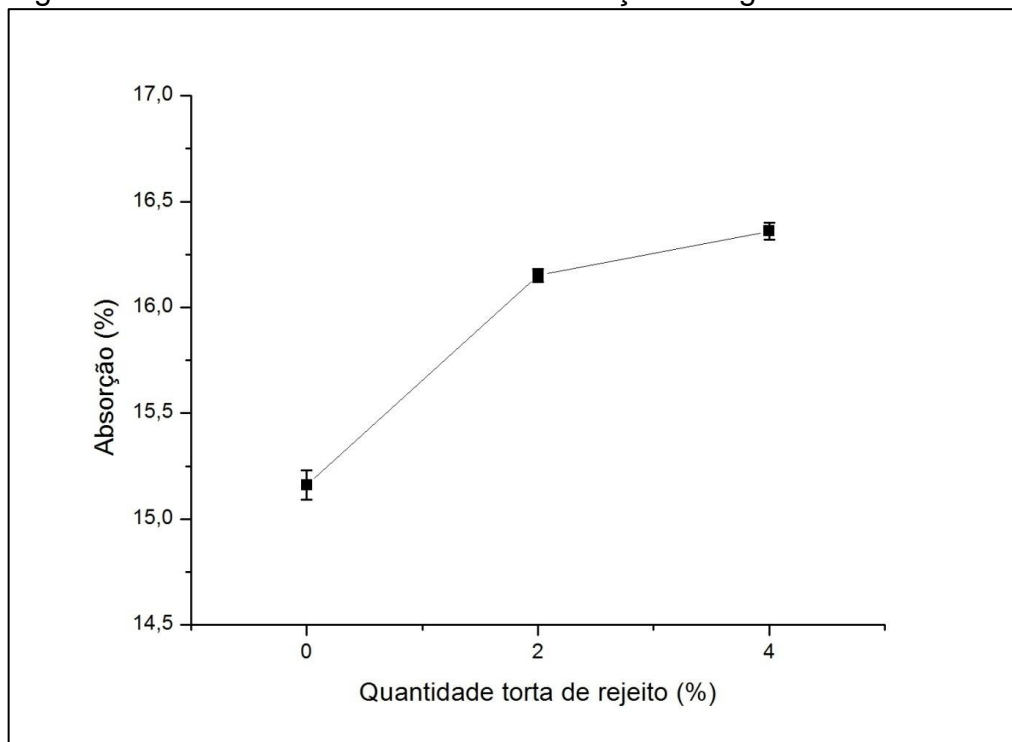
Vale destacar que a questão da retração é de extrema importância para a fabricação de tijolos, já que grandes variações em relação ao corpo de prova originalmente produzido (100% argila) seria um problema, pois moldes e processos deveriam ser modificados para atender as dimensões originalmente pretendidas. Neste sentido a variação dimensional ocorrida com as adições de resíduo não são um empecilho para sua utilização.

Com relação aos resultados dos ensaios de absorção de água nos corpos de provas, os corpos de prova com adição de 2% e 4% de torta de rejeito tenham atendido a norma, os mesmos tiveram acréscimos no percentual de água absorvida em relação aos corpos de prova com argila padrão (100% argila), conforme pode ser observado na Figura 25.

Este aumento está relacionado à porosidade, sobretudo à presença de poros abertos presentes na superfície do corpo de prova que, por capilaridade,

absorvem mais água. A formação destes poros, como citado anteriormente se dá em função da matéria orgânica que foi liberada para a atmosfera no momento de queima.

Figura 25 – Gráfico de resultados de absorção de água



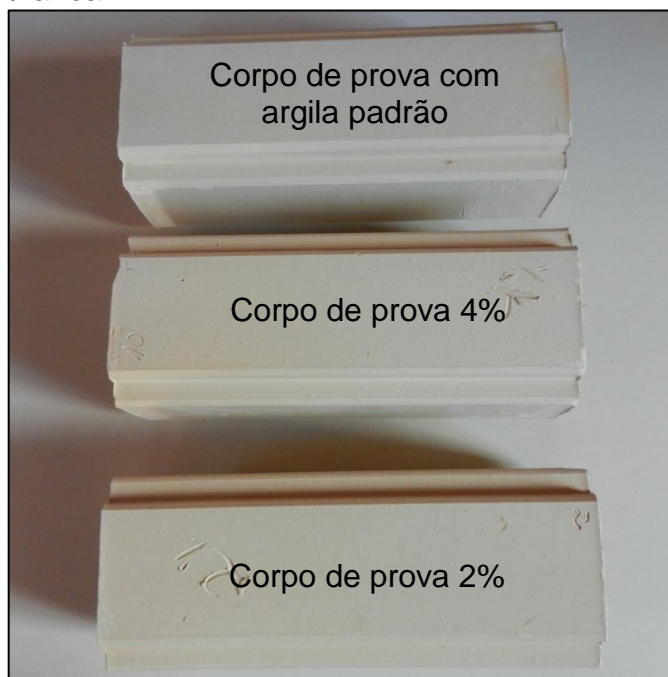
Fonte: Da autora, 2014

Com relação à resistência, conclui-se que não houve alterações consideráveis entre os três tipos de corpos de prova, conforme constatado na tabela 7. Analisando a NBR 13818/1997, a resistência à flexão precisa ser igual ou superior a 8 MPa, portanto, os corpos de provas deste estudo seguem o parâmetro exigido pela norma.

4.3.1 Cor de queima

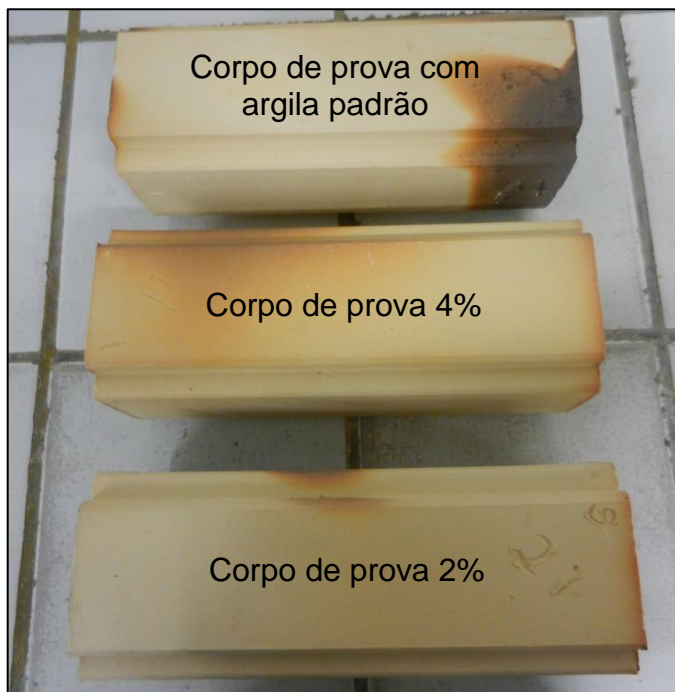
Após os corpos de prova queimados, foi comparada a cor de queima entre os mesmos, produzidos com argila padrão, com 2% e 4% de torta de rejeito. Não houve alteração na cor com a adição de resíduo, comparando com as cores (branco e mesclado) adquiridas com a argila padrão, conforme as Figuras 26 e 27, respectivamente.

Figura 26 – Resultados de comparações de cor branca



Fonte: Da autora, 2014

Figura 27 – Resultados de comparação das cores mescladas



Fonte: Da autora, 2014

4.3.2 “Coração negro”

Conforme citado anteriormente, foi proposto a porcentagem de 2% e 4%

de torta de rejeito, devido as conclusões de estudos realizados anteriormente, o qual concluiu que adicionando a torta de rejeito acima de 5%, ocasionaria na formação de “coração negro” nos corpos de prova. Com isso, pode ser visualizado na figura 28, que nos corpos de prova com 2% e 4% de torta de rejeito, não houve ocorrência de “coração negro”.

Figura 28 – Resultados de que não houve formação de “coração negro”



Fonte: Da autora, 2014

4.4 CÁLCULO DE REDUÇÃO DA TORTA DE REJEITO NA MINA DE CARVÃO

Para complementar o estudo aqui proposto neste trabalho e definir a redução na quantidade de torta de rejeito que não será mais disposta em depósitos de rejeito pela empresa carbonífera, caso este projeto seja desenvolvido em escala industrial pela cerâmica vermelha em questão, encontra-se a seguir. Vale citar que o cálculo irá considerar o reaproveitamento de 4% da torta de rejeito na massa cerâmica.

Para o desenvolvimento do cálculo, utilizou-se os dados de produção de tijolos na cerâmica vermelha equivalente a 5.544,00 kg/h de argila e de geração de torta de rejeito da Mina 101 em torno de 9.438,00 ton/mês. O cálculo é o seguinte:

$$\frac{5.544,00 \text{ kg}}{\text{h}} \times 10 \frac{\text{h}}{\text{dia}} = \frac{55.440,00 \text{ kg}}{\text{dia}}$$

$$\frac{55.440,00 \text{ kg}}{\text{dia}} \times 4\% \text{ torta de rejeito} = 2.310 \frac{\text{kg}}{\text{dia}} \text{ de torta de rejeito}$$

$$2.310 \frac{\text{kg}}{\text{dia}} \times 22 \text{ dias} = 50820,00 \text{ kg torta de rejeito/mês}$$

$$50820,00 \text{ kg} \frac{\frac{\text{torta de rejeito}}{\text{mês}}}{1000} = 50,820 \frac{\text{ton}}{\text{mês}} \text{ de torta de rejeito}$$

Pode se perceber, de acordo com os cálculos realizados, que com a utilização de 4% da torta de rejeito em escala industrial nessa cerâmica, irá ser reduzido cerca de 50,820 ton/mês de resíduos carbonosos para a Mina 101 dispor adequadamente em depósitos impermeabilizados.

4.5 CÁLCULO DA EMISSÃO DE SO₂ APÓS REAPROVEITAMENTO

Vale ressaltar que não foi realizado a amostragem de emissões atmosféricas de fonte estacionária, então, para se estimar a concentração de emissão de SO₂ (dióxido de enxofre), realizou-se o seguinte cálculo:

$$5.544,00 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \text{ de argila} \times 4\% \text{ de resíduo} = 2310 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \text{ de resíduo}$$

$$2310 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \text{ de argila} \times 1,33\% \text{ ST na torta de rejeito} = \frac{3,07 \text{ kg}}{\text{h}} \text{ S}$$

Transformando S em SO₂, tem-se 6,14 kg/h de SO₂, a vazão foi obtida por meio da medição realizada pelo laboratório do IPC, datado de 2013, conforme anexo.

A partir disso, pode-se calcular a concentração de SO₂.

$$C = \frac{\text{massa}}{\text{vazão}} = \frac{6,14 \frac{\text{mg}}{\text{h}}}{16381,00 \text{ m}^3/\text{h}} = \frac{378,8 \text{ mg}}{\text{N m}^3}$$

Sabendo-se que a Resolução CONAMA 382/2006 não tem parâmetros específicos para cerâmica vermelha de SO₂, comparou-se com o limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos de SO₂ gerados em Indústrias de coque, que equivale a 800 mg/Nm³. Contudo, pode-se constatar que a emissão de SO₂ foi bem inferior se comparado com o limite em coquerias, sendo que este limite foi estabelecido pelo MPF e órgão ambiental FATMA para as coquerias da região Criciúma e entorno.

4.6 RECOMENDAÇÕES DE CONTINUAÇÃO DE TRABALHO

Em relação à produção de tijolos com a incorporação do resíduo torta de rejeito, recomenda-se que a empresa inclua no seu processo produtivo um dosador, para que se tenha um controle da quantidade de resíduo adicionada na argila.

Vale ressaltar que, neste trabalho, não foi possível produzir um forno composto somente por tijolos com 2% e, posteriormente, com 4% de torta de rejeito, tendo em vista que não se tinha conhecimento dos resultados dos mesmos, e caso o estudo não apresentasse bons resultados, não haveria prejuízos para empresa, bem como não atrasaria o seu processo produtivo.

Contudo, para identificar o tempo a ser minimizado no processo de queima, a empresa deverá produzir um forno com presença total de tijolos com incorporação de torta de rejeito. E, também, recomenda-se fazer a amostragem de emissões atmosféricas para verificar mais precisamente se, com a incorporação de porcentagens de torta de rejeito, não irá aumentar as emissões.

5 CONCLUSÃO

A preocupação das empresas com o desenvolvimento sustentável está crescendo cada vez mais e, principalmente, a cobrança pelos órgãos ambientais quanto aos impactos gerados pelos empreendimentos. Um dos aspectos ambientais mais relevantes é a geração de resíduos sólidos e, conseqüentemente, o impactos negativos possíveis desta geração.

A região do extremo sul catarinense é caracterizada por um pólo cerâmico, assim como um pólo carbonífero. As empresas deste segmento são caracterizadas pela elevada geração de resíduos/rejeitos carbonosos. O estudo de produção mais limpa em questão foi realizado em uma indústria de cerâmica vermelha, reaproveitando um resíduo sólido gerado por uma mina de carvão, englobando, inclusive, os dois referidos pólos do estado. A metodologia adotada foi aplicável e determinante para chegar aos objetivos propostos.

Isso com o intuito de contribuir para o desenvolvimento sustentável por meio de uma destinação adequada para o resíduo sólido denominado torta de rejeito, seguindo a prioridade da reutilização/reaproveitamento antes da disposição final rejeitos estipulada pela Lei 12305/2010, sendo que esta é o tratamento dado pela carbonífera atualmente. Além disso, o projeto contribui para a redução da exploração dos recursos naturais, visto que a cerâmica utiliza a argila em larga escala, uma vez que é sua única matéria-prima para a produção de tijolos.

Por meio do estudo realizado pode-se constatar que o uso de torta de rejeito na formulação de massa cerâmica para a fabricação de tijolos acarretou em um maior poder calorífico e, conseqüentemente, menor tempo de queima, o que melhora o processo produtivo da cerâmica, diminuindo, a princípio, a quantidade de lenha a ser utilizada para geração de energia, além da diminuição de 4% do consumo de argila.

Diante dos resultados dos corpos de prova produzidos com a incorporação de até 4% de torta de rejeito na massa cerâmica, pode-se constatar que não houve alterações significativas nas características físicas dos tijolos que possam abortar a produção de tijolos com este tipo de resíduo. Inclusive, a incorporação do resíduo contribuiu para manter ou, até mesmo, minimizar a retração de secagem e de queima, além de que manteve a resistência dos tijolos comumente produzidos. Sendo que estes fatores comprovam a possibilidade de continuação

deste projeto em escala industrial, uma vez que não prejudica a qualidade final do produto.

Em relação à absorção de água, incorporando 2% e 4% de torta de rejeito, mesmo criando poros devido à volatilização da matéria orgânica existente no corpo de prova com torta de rejeito, não prejudicou a resistência à flexão nos tijolos. Os resultados também demonstram a não presença de “coração negro” e não alteração na tonalidade dos tijolos, tanto na cor mesclada, quanto na cor branca.

O reaproveitamento desse resíduo na fabricação de tijolos é uma alternativa viável para ambas as empresas, uma vez que minimiza a exploração de recursos naturais de argila e lenha pela indústria cerâmica e o tempo de queima dos tijolos, e diminui as áreas de depósitos de rejeito da indústria carbonífera, bem como os custos de adequações ambientais destas áreas conforme os critérios homologados na ACP do Carvão.

Vale comentar que a cerâmica vermelha do projeto não é considerada de grande porte e, portanto, não possui uma produção mensal elevada, não sendo possível reduzir consideravelmente o volume de torta de rejeito a ser disposta em depósitos pela mineradora. No entanto, com este estudo pode-se comprovar tecnicamente que é possível a incorporação deste resíduo na massa cerâmica de outras indústrias cerâmicas com o mesmo processo produtivo, podendo estas também reaproveitar este resíduo em seu processo, diminuindo, assim, uma grande quantidade de torta de rejeito, sem deixar de lado a contribuição com meio ambiente.

REFERÊNCIAS

ABCERAM - Associação Brasileira de Cerâmica. **Cerâmica no Brasil: introdução**. Disponível em: <http://www.abceram.org.br/asp/abc_21.asp>. Acesso em: 11 mar. 2014.

ABCERAM - Associação Brasileira de Cerâmica. **Processo de fabricação de cerâmica vermelha**. Disponível em: <<http://www.abceram.org.br/site/?area=45>>. Acesso em: 04 abr. 2014.

ALEXANDRE, Nadja Zim; KREBS, Antonio Silvio Jornada. **Qualidade das águas superficiais do município de Criciúma, SC**. v. 6. Porto Alegre: CPRM, 1995. 73 p.

AMARAL, J. E.; *et al.* **Mitigação ambiental de áreas degradadas pela mineração de carvão em Santa Catarina**. 2011. Disponível em: <<http://www.portalsatc.com/site/adm/arquivos/10739/030520121631482.PDF>>. Acesso em: 26 fev. 2014.

ANDREOLI, Cleverson Vitório. **Alternativas de uso de resíduos do saneamento**. Curitiba: Prosab, 2006. 398 p.

ANFACER - **Associação nacional dos fabricantes de cerâmica para revestimentos, louças sanitárias e congêneres**. Disponível em: <<http://www.anfacer.org.br/site/>>. Acesso em: 31 mar. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 13818, de abril de 1997**. Placas cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: 1997. 78 p.

BAR, Adalberto. **Caracterização dos tijolos e blocos cerâmicos utilizados na cidade de Ijuí**. Trabalho de conclusão de curso – Graduação de engenharia civil. Rio Grande do Sul: UNIJUÍ, 2003. 142 f.

BASTOS, Assis Frederico. **Avaliação do processo de fabricação de telhas e blocos cerâmicos visando a certificação do produto**. Dissertação de Mestrado - Pós-Graduação em Engenharia Civil. UFSC: Florianópolis, 2003. 152 f.

BOSCOV, Maria Eugenia Gimenez. **Geotecnia ambiental**. São Paulo: Oficina de textos, 2008, 248 p.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12/02/1998; e dá outras providências. **D.O.U.**, Brasília, DF, 03 ago. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 11 mar. 2014.

CABRAL JUNIOR, Marsis; *et al.* **Rochas e minerais industriais: argilas para cerâmica vermelha**. 2005. Disponível em: <<http://mineralis.cetem.gov.br:8080/bitstream/handle/cetem/1085/28.ARG.%20CER>>.

VERM%20.pdf;jsessionid=5BAAF9C521058F0A3B86D14973A361C6?sequence=1>. Acesso em: 31 mar. 2014.

CASAGRANDE, Marcos Cardoso; *et al.* Reaproveitamento de resíduos sólidos industriais: processamento e aplicações no setor cerâmico. **Cerâmica industrial**, v.13, n.1/2, p.34-42, 2008.

CASTRO, A.C.F.; OLIVEIRA, E.B. **O desenvolvimento sustentável e as implicações de produção mais limpa**: um estudo de caso no setor moveleiro. 2007. Disponível em:<http://www.fap.com.br/artigo_exaluna.pdf>. Acesso em: 26 fev. 2014.

CNTL - Centro Nacional de Tecnologias Limpas. **Implementação de programas de produção mais limpa**. 2003. Disponível em: <http://srvprod.sistemafiergs.org.br/portal/page/portal/sfiergs_senai_uos/senairs_uo697/proximos_cursos/implementa%E7%E3o%20PmaisL.pdf>. Acesso em: 26 fev. 2014.

COELHO, J.M.; BOSHI, A. **Projeto Estal: projeto de assistência técnica ao setor de energia. Produto 43 - cadeia de colorifícios. Relatório técnico 70 – perfil de colorifícios**. MME- Ministério de Minas e Energia, 2009. Disponível em:http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano_duo_decenal/a_transformacao_mineral_no_brasil/P43_RT70_Perfil_de_Colorifxcios.pdf. Acesso em: 31 mar. 2014.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº 382, de 26 de dezembro de 2006. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. **D.O.U.**, Brasília, DF, 02 jan. 2007. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=520>. Acesso em: 02 jun. 2014.

CONSEMA – Conselho Estadual de Meio Ambiente. Resolução nº 14, de 21 de dezembro de 2012. **D.O.E.**, Florianópolis, SC, 08 fev 2013. Disponível em:<http://www.famcri.sc.gov.br/resolucoes/resol_consema14.pdf>. Acesso em: 26 Fev. 2014.

CPRH – Agência Estadual de Meio Ambiente. **O setor ceramista e o meio ambiente**: guia prático para o licenciamento ambiental. Recife: 2010. Disponível em:<http://www.cprh.pe.gov.br/ARQUIVOS_ANEXO/cartilha%20caramistas;0419;20101123.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2014.

CULAU Fabiane Ilha; *et al.* Sustentabilidade: uma proposta de possibilidade estéticas e funcionais entre as linguagens do design e da cerâmica. **Ciências Naturais e Tecnológicas**. Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 125-140, 2012.

DUARTE, Anderson Pires. **Classificação das barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais no estado de Minas Gerais em relação ao potencial de risco**. Programa de pós-graduação em saneamento, meio ambiente e recursos hídricos. Belo Horizonte: UFMG, 2008.117 f.

FARFAN, J. R. J. Zumarán; BARBOSA FILHO, O.; SOUZA, V. P. de. . **Avaliação do potencial de drenagem ácida de rejeitos da indústria mineral**. Rio de Janeiro: CETEM, 2004. 36 p.

FARIAS, C. E. G.; **Mineração e meio ambiente**: relatório preparado para CGEE.Out.2002.Disponível em: <http://www.cgee.org.br/arquivos/estudo011_02.pdf>. Acesso em: 26 fev. 2014.

FEAM – Fundação Estadual de Meio Ambiente, *et al.* **Guia técnico ambiental da indústria de cerâmica vermelha**. Belo Horizonte:2013.Disponível em: <<http://www5.fiemg.com.br/admin/BibliotecaDeArquivos/Image.aspx?ImgId=41343&TabId=13672>>. Acesso: 31 mar. 2014. 58 p.

GASI, Tânia Mara Tavares; FERREIRA, Edson. Produção mais limpa. *In*: VILELA JÚNIOR, Alcir; DEMAJOROVIC, Jacques. **Modelos e ferramentas de gestão ambiental**: desafios e perspectivas para as organizações. São Paulo: SENAC, 2006. 396 p. ISBN 8573594977.

HERRMANN, Hildebrando. **Recuperação socioambiental de áreas mineradas**. *In*: Alba, José Maria. Recuperação de áreas degradadas. Brasília: Embrapa, 2010, 326. p. 124-145.

JFSC - JUSTIÇA FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Portal da Ação Civil Pública do Carvão**. Disponível em: <https://www.jfsc.jus.br/acpdocarvao/>. Acesso em: 27 jun 2014.

KOPEZINSKI, Isaac. **Mineração x meio ambiente**: considerações legais, principais impactos ambientais e seus processos modificadores. Porto Alegre: UFRGS, 2000. 103 p.

LUCAS, Denis; BENATTI, Cláudia Telles. Utilização de resíduos industriais para a produção de artefatos cimentícios e argilosos empregados na construção civil. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**. v. 1, n. 3, p. 405-418, set./dez. 2008.

LUZ, Adão Benvindo da; SAMPAIO, João Alves; ALMEIDA, Salvador Luiz Matos de. **Tratamento de minérios**. 5. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. 932 p.

MACCARI, Idê Maria Salvan. **Morro da Fumaça**: passado e presente. Morro da Fumaça: 2005. 56 p.

MACHADO, L. A. **Ensaio estáticos e cinéticos para a prevenção da geração de drenagem ácida de mina s na mineração de carvão com cinzas de termoeletricas e escória de aciaria**. Porto Alegre: UFRGS, 2007. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/10974>> Acesso em: 31 mar.2014.

MARTINHO, Maria da Graça Madeira; GONÇALVES, Maria Graça Pereira. **Gestão de resíduos**. Lisboa: Universidade Aberta, 2000. 281 p.

MÁS, Edgard. **Qualidade & tecnologia em cerâmica vermelha**. 2.ed. São Paulo: Polo Produções, s.d. 191p.

MILANEZ, Pedro Henrique Antunes. Fabricação de revestimentos cerâmicos a partir de resíduos sólidos. **Revista de Iniciação Científica**. Criciúma/SC: 2002. 40 p.

OLIVEIRA, Maria Cecília de; MAGANHA, Martha Faria Bérnils. **Cerâmica branca e de revestimentos**: guia técnico ambiental da indústria – série P+L. São Paulo: CETESB/FIESP, 2008. 84 p. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/tecnologia/producao_limpa/documentos/ceramica.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2014.

RAMOS, Danilo Toledo; SPOSTO, Rosa Maria. **Sustentabilidade no processo de produção de blocos cerâmicos com o uso de resíduos**. In: Anais da 58ª Reunião Anual da SBPC. Florianópolis/SC: UnB, 2006.

SANTA CATARINA, **Diagnóstico do setor de cerâmica vermelha em Santa Catarina**. Florianópolis, SC: 1990. 38 p.

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas; ESPM – Escola Superior de Propaganda e Marketing. **Cerâmica vermelha para construção**: telhas, tijolos e tubos. 2008. 95 p.

SINDICER - Sindicato da Indústria da Cerâmica Vermelha. **História da cerâmica**: introdução. 2014. Disponível em: <<http://www.sindicermf.com.br/historia-da-ceramica.html>>. Acesso em: 25 fev. 2014.

TEIXEIRA, José Alberto de Oliveira Soares. **Avaliação energética das indústrias de cerâmica vermelha no estado de minas gerais**. FEAM: BELO HORIZONTE, 2012. 40 p.

TELEOKEN, Ana Caroline. **Utilização de lodo galvânico como matéria-prima em cerâmica vermelha: obtenção, caracterização de propriedades tecnológicas e aspectos ambientais**. Dissertação de mestrado. UFRGS: Porto Alegre, 2011. 72 p.

VERÇOSA, G. J. **Materiais de construção I**. Dissertação de mestrado - Pós-Graduação em Engenharia Civil. Santa Maria: UFSM, 1987. 153 f.

WERNER, Eveline de Magalhães; BACARJI, Alencar Garcia; HALL, Rosemar José. **Produção mais limpa**: conceito e definições metodológicas. In: SEGeT – Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. 2009. Disponível em: <http://www.aedb.br/seget/artigos09/306_306_PMaisL_Conceitos_e_Definicoes_Metodologicas.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2014.

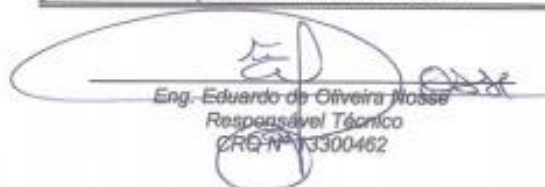
ZINGANO, A. C; KOPPE, J. C; COSTA, J. F. C. L. **Colapso de pilares em mina subterrânea de carvão – mina do barro branco – Santa Catarina**. Porto Alegre: UFRGS, 2002. Disponível em: <http://www.brasilminingsite.com.br/anexos/artigos/15_0.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2014.


ANEXO



4. CARACTERÍSTICAS DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

Empresa:		CETISA TIJOLOS E REVESTIMENTOS LTDA			
Atividade:		Fabricação de artefatos cerâmicos.			
Produto:		Tijolos.			
Processo:		Queima de tijolos.			
Local (Coleta):		Chaminé a jusante do forno paulista.			
Resultados Obtidos					
Parâmetros		1ª	2ª	3ª	MÉDIA
		30/03/12 Flange A/B	30/03/12 Flange A/B	30/03/12 Flange A/B	
Temperatura do Gás na Chaminé - Tc (°C)		132,0	131,9	131,7	131,8
Teor de Umidade do Gás - Bag (% v/v)		5,97	6,19	6,32	6,16
Volume de Gás Medido na Chaminé - Vgmc (m³)		1,4513	1,4498	1,4457	1,4489
Volume de Gás Medido na Chaminé , CNTP - VgmcN		0,9808	0,9800	0,9777	0,9795
Velocidade do Gás na Chaminé - vc (m/s)		2,81	2,81	2,81	2,81
Vazão do Gás na Chaminé - Q (m³/h)		25.720,35	25.729,80	25.729,48	25.726,48
Vazão do Gás na CNTP - Qnbs (Nm³/h)		16.406,41	16.375,96	16.362,68	16.381,68
Isocinetismo (%)		99,19	99,30	99,15	99,21
MP	Massa de MP (mg)	81,50	88,10	75,50	81,70
	Concentração de MP (mg/Nm³)	83,10	89,90	77,22	83,41
	Taxa de Emissão de Material Particulado (kg/h)	1,36	1,47	1,26	1,37
SO ₂	Massa de Dióx. de Enxofre (mg)	33,92	33,92	33,92	33,92
	Concentração de SO ₂ (mg/Nm³)	34,68	34,61	34,69	34,63
	Taxa de Emissão de Dióxido de Enxofre (kg/h)	0,57	0,57	0,57	0,57
SO ₃ + H ₂ SO ₄	Massa de SO ₃ + H ₂ SO ₄ (mg)	5,15	5,15	5,15	5,15
	Concentração SO ₃ +H ₂ SO ₄ (mg/Nm³)	5,25	5,25	5,26	5,25
	Taxa de Emissão de SO ₃ + H ₂ SO ₄ (kg/h)	0,09	0,09	0,09	0,09
SO _x	Massa de SO _x (mg)	39,06	39,06	39,06	39,06
	Concentração de SO _x (mg/Nm³)	39,83	39,86	39,95	39,88
	Taxa de Emissão SO _x (kg/h)	0,65	0,65	0,65	0,65
NO ₂	Massa de NO ₂ (mg)	1,00	1,00	1,00	1,00
	Concentração de NO ₂ (mg/Nm³)	1,37	1,37	1,37	1,37
	Taxa de Emissão NO ₂ (kg/h)	0,02	0,02	0,02	0,02


 Eng. Eduardo de Oliveira Jrosse
 Responsável Técnico
 CRC Nº 3300462


 Eng. Renan M. Perin
 Analista Ambiental